



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIDAD EN ESTRUCTURAS DE ACERO Y HORMIGÓN ARMADO
ESTUDIO DE PATOLOGÍAS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE
REHABILITACIÓN DEL SALÓN PRINCIPAL DEL CENTRO
DE RETIROS DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Autora:

MARÍA CRISTINA SARMIENTO DÁVILA

0104202049

Tutor:

Ing. NELSON NAVARRO CAMPOS PhD.

0151273299

MONOGRAFÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ESPECIALISTA DE
ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO Y HORMIGÓN
ARMADO

Enero - 2017



RESUMEN

Desde varios años existe la edificación del Centro de Retiros de la Universidad del Azuay, la cual tiene problemas de construcción congénitos por lo que no se le ha dado uso a la edificación. Parte de esta construcción es el Salón Principal, esta monografía está orientada a generar una propuesta de rehabilitación del mencionado salón basándose en un diagnóstico patológico existente y complementando el mismo con información de patología de estructuras y un complemento del diagnóstico.

Palabras Clave: Patología, Diagnóstico, Rehabilitación, Estructuras.

ABSTRACT

Many years ago a building was constructed, the Retreat Center at the University of Azuay, which has construction problems since the beginning, and has never been used. Part of this project is the Main Hall, this monograph is aimed at generating a proposal for rehabilitation of the structure of the Main Hall, based on an existing pathological diagnosis, complementing it with information structures and pathology complement diagnosis.

Key Words: Pathology, Diagnosis, Rehabilitation, Structures.



ESTUDIO DE PATOLOGÍAS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL SALÓN PRINCIPAL DEL CENTRO DE RETIROS DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY.....	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Descripción de la edificación objeto de estudio.....	8
1.2. Situación de la problemática.....	11
1.3. HIPÓTESIS.....	11
1.4. ANTECEDENTES.....	12
1.5. OBJETIVO GENERAL.....	12
1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.7. Marco teórico Conceptual.....	12
1.8. Estado Del Arte.....	18
CAPÍTULO II. DIAGNÓSTICO DE LAS PATOLOGÍAS DE LAS EDIFICACIONES.....	21
2.1. Introducción.....	21
2.2. OrientaciONES Para El Diagnóstico.....	21
2.3. Orientación Sobre Los Sistemas De Intervención.....	45
2.4. Estudio y evaluación del informe de diagnosis de las patologías de la edificación realizado por el Ing. Gabriel García.....	53
CAPÍTULO III. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL DEL SALÓN PRINCIPAL DE LA EDIFICACIÓN EN ESTUDIO.....	64
3.1. elementos estructurales del salón principal.....	64
3.2. Investigación del estado técnico-constructivo de los elementos estructurales.....	67
3.3. Conclusiones de la Investigación del estado técnico-constructivo de los elementos estructurales.....	73
3.4. Especificaciones de la propuesta de intervención de reforzamiento estructural del salón principal.....	74
CAPÍTULO IV. SOLUCIONES, ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA REHABILITACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO básico.....	76
4.1. Parámetros técnicos para el modelo y análisis estructural.....	76
4.2. Hipótesis para la modelación.....	76
4.3. Modelación de la estructura para el diseño de reforzamiento.....	77
4.4. Análisis de los resultados del cálculo y realización del diseño de reforzamiento del salón principal.....	82
4.5. Elaboración de planos de rediseño.....	90
4.6. Presupuesto general.....	90
conclusión.....	95
recomendaciones.....	95
Referencias Bibliográficas.....	96
Anexos.....	99



Cláusula de derechos de autor

Yo, María Cristina Sarmiento Dávila, autora de la tesis "ESTUDIO DE PATOLOGÍAS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL SALÓN PRINCIPAL DEL CENTRO DE RETIROS DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY" reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras de Acero y de Hormigón Armado. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 09 de enero del 2017

María Cristina Sarmiento Dávila

0104202049

Yo, María Cristina Sarmiento Dávila, autora de la tesis "ESTUDIO DE PATOLOGÍAS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL SALÓN PRINCIPAL DEL CENTRO DE RETIROS DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 09 de enero del 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "M. C. Sarmiento Dávila", written over a horizontal line.

María Cristina Sarmiento Dávila

0104202049



AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento a mi madre por su apoyo durante todas las etapas de mi vida, a mi esposo por toda la comprensión y sus palabras de aliento en todo momento para continuar adelante, al PhD Nelson Navarro por todas las indicaciones impartidas durante la elaboración de esta monografía, a los Ingenieros Gabriel García, Magno Rivera, Jorge Bravo, Adrián Tola, Francisco Flores por los aportes a mi investigación.



DEDICATORIA

Dedicado a mi familia, en especial a mi esposo y mis sobrinos puesto que son la inspiración para mis logros personales y profesionales.

ESTUDIO DE PATOLOGÍAS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL SALÓN PRINCIPAL DEL CENTRO DE RETIROS DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN OBJETO DE ESTUDIO.

La construcción inconclusa de lo que debió ser el denominado Centro de Retiros de la Universidad del Azuay, se logró disponer tan sólo del diseño arquitectónico inicial del arquitecto Boris Vélez.

El proyecto del complejo de carácter educativo incluía salones, aulas, dormitorios, área verde, áreas de circulación; las áreas descritas se presentan en el Tabla 1.



AREAS				
	ESPACIOS	AREA m ²	TOTAL m ²	
SUBSUELO	SALONES	470.56	1155.69	
	AULAS	75.24		
	DORMITORIOS	175.44		
	A. VERDE	236.37		
	CIRCULACION	198.08		
PLANTA BAJA	SALONES	598.80	1860.41	
	AULAS	54.67		
	DORMITORIOS	435.88		
	A. VERDE	349.05		
	CIRCULACION	422.01		
PLANTA ALTA	SALONES	84.13	685.29	
	DORMITORIOS	435.88		
	TERRAZAS	60.71		
	CIRCULACION	104.57		

Tabla No. 1 Áreas de los principales locales del Centro de Retiros de la Universidad del Azuay

El Centro de Retiros de la Universidad del Azuay se encuentra ubicado frente al camino a Corraloma, detrás de los predios del Colegio Borja, en la parroquia de Yanuncay, en la parte sur-occidental de la ciudad de Cuenca, Ecuador.

De acuerdo al Proyecto "Prevención de desastres naturales en la cuenca del río Paute, Ecuador" (PRECUPA), en el sector donde se encuentra construido el Centro de Retiros existe la Formación Geológica Turi (M_{TU}).

El Proyecto PRECUPA tiene una escala 1:25000, esta escala si bien permite conocer las características del suelo en un determinado sector, es necesario conocer los parámetros del suelo de manera más precisa para considerar la factibilidad de un proyecto en particular.

El edificio presentó graves problemas técnicos en el transcurso de la construcción, razón por la cual nunca se le dio terminación ni uso desde el momento de adquisición por parte de la Universidad del Azuay. Además, la falta de mantenimiento y el abandono generó que los elementos estructurales se hayan afectado por los factores ambientales.



Fotos 1 y 2 (Vistas Frontal y Posterior de la Edificación)

El material principal de la edificación es el Hormigón Armado, la edificación está principalmente ejecutada con una estructura mediante pórticos, losas alivianadas y cubierta de fibro - cemento.

En el salón principal el cual va a ser objeto de estudio para rehabilitación en este trabajo, para determinar si el suelo es apto para la construcción de una edificación como la del Centro de Retiros fue necesario realizar una inspección al lugar con el Msc Magno Rivera, especialista en deslizamientos o movimientos de masa de tierra, con la finalidad de conocer si existen fallencias en el terreno pero se encontró que el mismo es estable.

No se cuenta con la información relacionada a la existencia o no de las vigas de amarre, elementos que formarían parte de la cimentación del salón principal por tal motivo, en el desarrollo de esta monografía no se incluirá el análisis de la infraestructura.

Las columnas son nueve en la planta baja y en la planta alta son ocho, existiendo la columna central solo en la planta baja, las dimensiones de las secciones de cada una son varían entre ellas en centímetros, siendo una dimensión promedio 0.41 m.



Fotos 3 y 4 (Vistas Interiores de la Planta Alta y la Planta Baja de la Edificación)

Las vigas de borde de la losa del entrepiso son peraltadas, tienen 0.30 m de alto y un ancho de 0.30 m; las vigas centrales tienen 0.25 m.

Existe una viga de borde perimetral, su eje está a una altura de aproximadamente 5 m desde el eje de la losa de entrepiso, sobre esta viga, en la parte frontal del salón se levanta 0,50 m de mampostería de bloque, misma que va disminuyendo en diagonal hasta la parte posterior.

La losa de piso de la planta baja es de hormigón, en la misma no se divisan juntas constructivas; no se cuenta con la información relacionada al espesor de la losa y se desconoce si tiene acero por retracción y temperatura.

La losa de entrepiso es una losa alivianada en dos direcciones de peralte de 0.25 m, los ejes de las nervaduras de la losa se encuentran a 0.50 m en ambas direcciones, las mismas tienen un ancho de 0.10 m, la altura de la parte alivianada es de 0.20 m.



Foto 5 (Vista de la losa de entrepiso desde la Planta Baja del Salón Principal)

El soporte directo de la cubierta está constituido en la parte frontal por una viga de 0.15 m de alto por 0.30 m de ancho, una cercha de acero intermedia entre la parte frontal y posterior del salón y la viga perimetral anteriormente citada en la parte posterior; el techo es a una sola agua.

Las paredes del salón principal están construidas con bloques de 0.40 m por 0.20 m y por 0.20 m, se encuentran cubiertas por mortero tanto en la planta baja

como en la planta alta. La construcción no llegó a la fase de colocar los acabados.

Para el acceso a la planta alta se ha previsto un puente de losa alivianada en ambas direcciones de 6 m de luz, la cual tiene un espesor de 20 cm. Esta losa está apoyada en sus extremos sobre columnas junto al muro de contención de hormigón ciclópeo existente y también por la estructura de la edificación. Para acceder a la planta baja es necesario bajar por unas gradas laterales al salón principal.



Foto 6 (Vista del Puente de Acceso a la Planta Alta del Salón Principal)

1.2. SITUACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.

Al realizar la construcción del Centro de Retiros de la Universidad del Azuay, aún sin entrar en servicio, se generó la deflexión en la losa bajo carga muerta solamente, por lo cual el constructor, con la finalidad de nivelar el entrepiso procedió a colocar hormigón adicional, generando una mayor carga muerta agravando la situación.

Debido a una deficiente ejecución en obra, todos los elementos estructurales tienen mal estado, además al estar abandonada por un periodo mayor de siete años presenta deterioro y empeoramiento de su estado, por lo que la intervención obedece a la necesidad de evaluar la condición total de la estructura para establecer un plan de rehabilitación.

Debido a las graves patologías que presenta la edificación no ha podido ser puesta en servicio, por lo que la rehabilitación parcial o total constituye el problema principal a resolver. En este estudio se analizara en forma particular la rehabilitación del salón principal.

1.3. HIPÓTESIS.

Mediante estudios evaluativos de la situación estructural – constructiva de la edificación, establecer un diagnóstico efectivo para el diseño de las soluciones de rehabilitación que permitan su aplicación en los trabajos de reparación y reforzamiento necesarios en los elementos de la estructura, salvando así esta



inversión e impidiendo su demolición y posterior reconstrucción si las condiciones actuales lo permiten a un costo racional.

1.4. ANTECEDENTES.

Como antecedente principal se cuenta con el Informe Técnico "Diagnóstico de las patologías de edificio de la Universidad del Azuay (Sector Borja) ", realizado por el Ing. Gabriel García en Septiembre de 2010, quien para realizar los ensayos se apoyó en la entidad SIKA S.A. en Ecuador.

Además se cuenta con el Trabajo de Curso de la materia Patología, Diagnóstico y Rehabilitación de Edificaciones dictada por el PhD. Nelson Navarro, realizado por la autora con el Ing. Jorge Bravo y el Ing. David Contreras.

1.5. OBJETIVO GENERAL.

Aportar las soluciones técnicas y constructivas para la rehabilitación estructural del salón principal del Centro de Retiros de la Universidad del Azuay, con la realización de los planos estructurales y especificaciones técnicas básicas como opción aplicativa en un proyecto ejecutivo.

1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Obtener y analizar documentación sobre Patología, Diagnóstico y Rehabilitación de Estructuras de hormigón armado.
2. Estudiar y evaluar el informe del Diagnóstico del Ing. Gabriel García, con énfasis en sus conclusiones sobre la diagnosis de la edificación objeto de estudio, en particular del salón principal.
3. Realizar el Análisis del estado actual de la estructura del Salón Principal
4. Realizar el análisis y diseño estructural estableciendo las soluciones de rehabilitación que correspondan a cada elemento y partes de la estructura del salón principal.
5. Realizar análisis económico general básico de las soluciones planteadas.

1.7. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

El desarrollo de este numeral está basado en referencias a los campos del conocimiento, como se citan seguidamente.

1.7.1. TERMINOLOGÍA.

Como parte del marco teórico conceptual, a continuación se presentan un conjunto de términos generales utilizados en el área de patología, diagnóstico y rehabilitación de estructuras.



Patología Constructiva de las Edificaciones. Es la ciencia que estudia los problemas constructivos que aparecen en un edificio o en algunas de sus unidades después de su ejecución.

Lesión. Es cada una de las manifestaciones observables de un problema constructivo. Será, pues, el síntoma o efecto final del proceso patológico en cuestión.

Causa. Es el agente, activo o pasivo, que actúa como el origen del proceso patológico y que desemboca en una o varias lesiones. En ocasiones, varias causas pueden actuar conjuntamente para producir una misma lesión.

Diagnóstico. Esta palabra, viene etimológicamente del griego "diagnóstikos" (capaz de reconocer, conocimiento de la enfermedad).

Rehabilitación. Acción dirigida a devolver en un edificio declarado inhabitable e inservible las condiciones necesarias para su uso originalmente establecido u otro nuevo.

Protección. Es toda medida que se adopta para proteger, para evitar que el inmueble pierda su integridad y capacidad para el uso que fue diseñado.

Mantenimiento. Trabajo periódico de carácter preventivo y planificado, que se realiza en las construcciones durante su explotación para conservar las propiedades y capacidades que son afectadas por el uso, agentes atmosféricos o su combinación, sin que sus componentes fundamentales sean objeto de modificación o sustitución parcial o total.

Elaboración de los Planes o Programas de Mantenimiento. Es necesario que los ciclos para preservar a la edificación y alargar su vida útil sean programados. Si bien estos ciclos de mantenimiento son necesarios desde que se construye cualquier obra nueva, en el caso de una obra que ya ha sido intervenida por su notable estado de deterioro, el mantenimiento entonces reviste una mayor importancia que en el caso anterior pues el deterioro aparece con mayor rapidez en este último caso (1).

Elementos estructurales. Son aquellas partes que sostienen la estructura de un edificio tales como columnas, vigas, losas, etc. Los elementos estructurales resisten y transmiten a la cimentación las fuerzas del peso de la edificación y su contenido, las cargas causadas por sismos, huracanes u otro tipo de acción de la naturaleza.

Capacidad Portante. Aptitud de un edificio para proporcionar, con la fiabilidad requerida, la estabilidad del conjunto y la resistencia necesaria, durante un tiempo determinado, denominado periodo de servicio o vida útil de la edificación.

Fuerzas internas. Se denominan fuerzas internas a la *cortante, flexión, torsión, carga axial o cualquier combinación de esos efectos.*



Estado límite. Se llama estado límite de una estructura a cualquier etapa de su comportamiento a partir de la cual su respuesta se considera inaceptable.

Estado límite de falla. Aquellos estados límite relacionados con la seguridad, se denominan estados límite de falla y corresponden a situaciones en las que la estructura sufre una falla total o parcial, o simplemente presenta daños que afectan su capacidad para resistir nuevas acciones. La falla de una sección por fuerzas internas, constituye un estado límite de falla, así como la inestabilidad o falta de equilibrio global de la estructura, el pandeo de uno de sus miembros, el pandeo local de una sección y la falla por fatiga. (3)

Seguridad Estructural. La seguridad estructural se refiere a la solidez y resistencia que las edificaciones deben tener al construirse, contemplando la resistencia, rigidez y estabilidad ante las acciones previstas y evaluadas en conformidad con las normativas correspondientes. (5)

Para cumplir con la seguridad estructural es necesario que el proyectista tenga claros los conceptos que giran en torno al tema *para ejercer juiciosamente su criterio (3)* el cual se *debe derivar de la comprensión de la razón de ser y de las limitaciones de dichos procedimientos, así como de una apreciación, aunque sea aproximada, de la justificación de los valores numéricos en ellos incluidos. (3)*

Al realizar la revisión de la seguridad estructural por medios analíticos, conviene realizar la comparación a nivel de fuerzas internas que un conjunto dado de acciones produce en las distintas secciones y compararlos con los valores de estas fuerzas internas que la estructura, o cada sección de ella, es capaz de resistir.

Además, los fundamentos teóricos y conceptuales establecidos y de general aceptación en la literatura especializada en el tema, los documentos normativos vigentes y las experiencias de las buenas prácticas constructivas.

1.7.2. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS EXISTENTES.

Para este ámbito de aplicación de la seguridad estructural es necesario definir las bases y los procedimientos para la evaluación estructural de los edificios existentes, en concordancia con los principios del análisis de la seguridad estructural. (6)

En la evaluación estructural de edificios existentes puede hallarse un mayor grado de diferenciación de la seguridad que para el dimensionado estructural de edificios de nueva construcción, debido a las consideraciones de tipo económico, social o medioambiental. (6)

Se debe contar con criterios generales para la evaluación estructural de cualquier tipo de edificio existente, los cuales deben ubicarse en alguna de las siguientes condiciones: (6)



1. Se ha concebido, dimensionado y construido de acuerdo con las reglas en vigor en el momento de su realización; (6)
2. Se ha construido de acuerdo a la buena práctica, la experiencia histórica y la práctica profesional aceptada. (6)

No es adecuada la utilización directa, sin un análisis particular del caso, de las normas y reglas vigentes en la evaluación estructural de edificios existentes, construidos en base a reglas y normativas anteriores a las actuales para los edificios de nueva construcción, por los siguientes motivos: (6)

1. Toda evaluación debe realizarse teniendo en cuenta los características y las condiciones reales del edificio existente; (6)
2. Las normas actuales suelen estar basadas en exigencias diferentes y generalmente más estrictas que las vigentes en el momento en que se diseñó el edificio, por lo cual, muchos edificios existentes se clasificarían como no fiables si se evaluaran según las normas actuales; (6)
3. Se puede considerar, en muchos casos, un período de servicio reducido, lo que se traduce también en una reducción de las exigencias; (6)
4. Actualmente se pueden emplear modelos de análisis más realistas de cada caso, a través de inspecciones, ensayos, mediciones in situ o consideraciones teóricas, lo que puede aportar beneficios adicionales. (6)

Los elementos estructurales deben ser evaluados según el grado de importancia, basada en los criterios estructurales de las edificaciones como se muestran a continuación:

Las vigas son elementos que soportan las cargas que actúan en una estructura ya sean cargas vivas, cargas muertas u otras. Estos elementos pueden sufrir fallas por flexión debido a la deformación causada por los esfuerzos de flexión generado por las cargas externas. Además, las vigas deben tener un margen de seguridad adecuado contra otro tipo de comportamiento muy común en ellas, como es el caso de la falla por cortante. De esta manera se puede definir a las vigas como elementos estructurales importantes, para que la estructura se mantenga en buenas condiciones de servicio.

Las columnas son miembros verticales a compresión de los marcos estructurales, que sirven para apoyar las vigas cargadas. Además, transmiten las cargas de los pisos superiores hasta la planta baja y después al suelo, a través de la cimentación. En términos económicos y de pérdidas humanas, la falla estructural de una columna sería un evento muy importante puesto que su falla de una de estas en un lugar crítico de la estructura puede causar el colapso progresivo de los pisos concurrentes y el colapso total último de la estructura completa. Adicionalmente, las fallas en elementos a compresión proporcionan muy poca advertencia visual evidente en la estructura, resultando fallos bruscos.

Las losas forman parte del sistema de entrepiso de una estructura y en el caso de losas en una dirección, éstas están apoyadas sobre vigas por lo que se puede decir que este elemento estructural es igualmente importante que las vigas para un edificio, ya que en la mayoría de los casos trabajan conjuntamente y la falla estructural de la losa o de la viga en conjunto con la losa provocaría grandes



pérdidas tanto económicas como humanas y dejando de esta manera la estructura fuera de servicio.

Las cimentaciones son la parte de la edificación que están en contacto directo con el suelo y cuya función es transmitir con seguridad las reacciones concentradas de las columnas o muros, y las cargas laterales que el edificio soporta sin que haya asentamientos peligrosos para la estructura que soportan. En consecuencia, la falla estructural de las cimentaciones es un evento que se considera *muy importante*, ya que si estas fallan la estructura puede asentarse diferencialmente provocando esfuerzos demasiado elevados en las uniones de trabes con columnas hasta que finalmente se puede producir la falla estructural completa. Por otro lado, estos asentamientos diferenciales pueden provocar la ruptura de las líneas de distribución que pasan por debajo del edificio causando que una determinada estructura quede funcionalmente inhabilitada.

La estructura de techo, elemento considerado de menor importancia al comparar con los anteriormente citados, además de ser resistente a las cargas sobrepuestas tales como nieve, lluvia, personas, debe proporcionar soporte adecuado a la cubierta de techo, la cual a su vez proporciona protección a la estructura contra las inclemencias del clima, como por ejemplo impide el paso de la humedad, lluvia y rayos del sol. En el caso de que dicha estructura sufra algún tipo de falla afectará de alguna manera al resto del edificio.

1.7.2.1. Criterios básicos para la evaluación estructural.

1. La evaluación estructural de un edificio existente se realizará, normalmente, mediante una verificación cuantitativa de su capacidad portante y, en su caso, de su aptitud al servicio, teniendo en cuenta los procesos de deterioro posibles. Para ello, puede adoptarse un procedimiento de evaluación por fases que tenga en cuenta las condiciones actuales del edificio, definiendo cada una de las fases en función de las circunstancias y condiciones específicas de la misma tales como la disponibilidad del proyecto original, la observación de daños estructurales, el uso del edificio entre otros, y de los objetivos de la evaluación. En cada una de las fases se incrementa la precisión de las hipótesis para la evaluación, así como el grado de detalle de los métodos de análisis respecto de la fase anterior. ⁽⁶⁾
2. En los edificios en los que no resulte posible o sea poco fiable una verificación cuantitativa, o cuando el edificio haya demostrado un comportamiento satisfactorio en el pasado, puede realizarse una evaluación cualitativa de la capacidad portante y de la aptitud al servicio. ⁽⁶⁾
3. El proceso de evaluación se considera finalizado cuando en alguna de las fases alcanza una conclusión inequívoca sobre la seguridad estructural del edificio o sobre las medidas a adoptar. En los casos en los que no resulte posible verificar una capacidad portante o una aptitud al servicio adecuada, de todas maneras se debe dar las recomendaciones precisas sobre las medidas a adoptar. ⁽⁶⁾



1.7.2.2. Fases de la Evaluación.

1. Evaluación preliminar, que incluye en general:
 - La recopilación y estudio de la documentación disponible y, en su caso, el levantamiento de planos;
 - Una inspección preliminar;
 - La elaboración de las bases para la evaluación;
 - La verificación preliminar de la capacidad portante y de la aptitud al servicio de los elementos estructurales principales.
2. Evaluación detallada, que incluye en general:
 - La determinación del estado del edificio mediante una inspección detallada, incluida la cuantificación de posibles daños;
 - La actualización de la geometría y de los planos del edificio;
 - La actualización de las características de los materiales;
 - La actualización de las acciones;
 - La actualización de las bases para la evaluación;
 - El análisis estructural;
 - La verificación de la capacidad portante y de la aptitud al servicio.
3. Evaluación avanzada, con métodos de análisis de la seguridad, que incluye en general:
 - La determinación de las situaciones de dimensionado precisos;
 - La adquisición, en su caso, de más datos sobre las características de la estructura o de los materiales, o sobre las acciones;
 - La determinación de los modelos probabilistas de las variables;
 - El Análisis Estructural. ⁽⁶⁾

1.7.2.3. Análisis estructural.

1. Para el Análisis Estructural de un edificio existente deben emplearse modelos que reflejen adecuadamente el estado actual del edificio y tengan en cuenta los procesos de deterioro que puedan resultar importantes. Las incertidumbres asociadas con los modelos se tendrán en cuenta mediante coeficientes parciales adecuados en análisis semi-probabilistas.
2. La influencia de los efectos de escala o de forma, de la duración de la aplicación de una carga, de la temperatura o humedad se tendrán en cuenta.
3. En el análisis se tendrá en cuenta el nivel de incertidumbre relativo a las condiciones y al estado de los elementos. A estos efectos, se podrá ajustar la dispersión asumida, entre otros, para la capacidad portante de los elementos, o para las dimensiones de sus secciones transversales.
4. Si se observa el deterioro estructural de un edificio existente, deben identificarse los mecanismos de deterioro y determinarse modelos que permitan predecir el comportamiento futuro del mismo. ⁽⁶⁾

1.7.2.4. Medidas Constructivas.

1. Según los resultados de la evaluación, puede ser necesaria la adopción de medidas constructivas que incrementen la seguridad estructural de



forma que se cumplan las exigencias acordes con los objetivos establecidos para el periodo de servicio futuro, tales como el incremento o reducción de la masa, rigidez o de la resistencia de elementos o de secciones, de amortiguadores o el cambio del sistema estático. ⁽⁶⁾

2. Los elementos de refuerzo de una estructura se dimensionarán según las especificaciones para el dimensionado estructural de edificios de nueva construcción. Alternativamente, las verificaciones relativas a los elementos de refuerzo se podrán basar en una aplicación directa de los métodos de análisis de la seguridad. ⁽⁶⁾

1.8. ESTADO DEL ARTE.

La reparación estructural es un área compleja dentro del campo de la rehabilitación, en los que deben desarrollarse actuaciones de consolidación en los entresijos, refuerzos en vigas y columnas, incluso recalces en la cimentación que presentan las *patologías que afectan a la estabilidad, solidez y seguridad de las edificaciones*. ⁽⁷⁾

Para la reparación estructural se utilizan diferentes materiales con características determinadas para mejorar las condiciones de los elementos estructurales, siendo en el medio algunos de estos más utilizados que otros. Para conocimiento general, se desarrolla información de los más manejados.

El uso del hormigón era más que nada destinado a construir estructuras portantes aprovechando las características mecánicas y de durabilidad del material, combinado con la gran ventaja de poder construir cualquier forma para los distintos elementos. En los últimos años hay una tendencia constante para mejorar estas características e introducir nuevos hormigones que den respuesta satisfactoria a unas necesidades crecientes en otros campos como es el de la sostenibilidad.

La técnica de intervención correctiva más utilizada es la de reparos localizados con morteros de base cemento modificados con polímeros. Una de las patologías más comunes presentada por la cual se usa este tipo de intervención son las fisuras asociadas a la retracción.

Para aplicaciones civiles/estructurales, en las que tanto la resistencia como la rigidez del material son importantes, es necesario combinar el polímero con otros materiales para obtener materiales compuestos cuyas propiedades superen las de sus constituyentes. Los componentes adheridos están en forma de partículas o en forma fibrosa. ⁽¹¹⁾

El refuerzo fibroso puede orientarse en la dirección que sea necesaria para proporcionar la mayor resistencia y rigidez. Para aumentar todavía más la rigidez del material, las fibras pueden apilarse de manera que la rigidez de la estructura se deriva tanto de su configuración como del material mismo. ⁽¹¹⁾

En la industria de la construcción, la fibra de vidrio o la fibra de carbono y el polímero de poliéster se utilizan para formar un material compuesto fibroso. ⁽¹¹⁾



Como aspectos que limitan su uso; los planes de estudios de las diferentes titulaciones no recogen esta materia y se aprecia entre los profesionales una tendencia al uso de materiales tradicionales más conocidos pero probablemente no más convenientes para un elevado número de aplicaciones en la construcción; el costo es otro aspecto que en algunos casos limita su utilización, pero es necesario subrayar que mediante un diseño adecuado y tras evaluar las ventajas económicas que conlleva el uso de estos materiales: ligereza, economía de transporte y montaje, reducción de cargas muertas, mantenimiento prácticamente nulo y la eliminación de la operación del pintado de la pieza, se puede afirmar en la mayoría de los casos, que el uso de estos materiales es rentable. ⁽¹¹⁾

Las fibras de vidrio están elaboradas a partir de las materias primas tradicionales necesarias para la fabricación del vidrio: sílice, cal, alúmina y magnesita. A estos constituyentes de base se añaden, según los tipos de vidrio, dosis extremadamente precisas de ciertos óxidos. Triturada finamente y amasada para conseguir una mezcla homogénea, introducida después en un horno de fusión, la composición pasa progresivamente al estado líquido. La temperatura del horno se sitúa alrededor de 1550 grados centígrados.

Los tipos de vidrio utilizados para elaborar las fibras son dos, el uno tiene alto contenido de sílice, se utiliza como reforzante y posee gran resistencia química; el otro vidrio es de alta resistencia mecánica y módulo de elasticidad.

Así, la fibra de vidrio para hormigones o morteros es una fibra de alto módulo (10 veces más resistente que el polipropileno) con una gran resistencia a la tracción (de 3 a 4 veces la del acero). Es pues una fibra ideal para reforzar las matrices de cemento.

Las fibras de carbono están elaboradas a partir de fibra orgánica. Se fabrican mediante *descomposición química controlada de materia orgánica, causada por el calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno y de cualquier halógeno ⁽⁹⁾ y del uso cíclico de sustancias de cierta fibra orgánica, el más común de los cuales es el precursor poliacrilonitrilo que es una fibra sintética y el segundo más común se obtiene de la destilación destructiva del carbón.*⁽¹¹⁾

También existen los tejidos híbridos que contienen fibras de vidrio y carbono.

La principal resina termoestable utilizada en la industria de la construcción es la resina de poliéster y tres tipos de ella se utilizan como resina de laminación: el tipo ortoftálico una resina de utilización general, la isoftálica tiene propiedades de resistencia superiores al desgaste y a los agentes químicos y el tipo de ácido caliente se utiliza como retardador de llama. Pueden utilizarse en las resinas rellenos y pigmentos, el primero principalmente para mejorar las propiedades mecánicas y el segundo para mejorar la apariencia y la protección. Los rellenos como el trihidrato de aluminio pueden ser utilizados para mejorar las características retardadoras de llama, pero es importante que se incorpore la cantidad correcta: si se utiliza en una proporción muy alta, pueden aparecer efectos adversos para las propiedades contra el desgaste. Esto es solo aplicable a materiales compuestos expuestos al aire libre; para aplicaciones internas,



donde el agua o los agentes químicos no están en contacto con el polímero, éste no resulta afectado. ⁽¹¹⁾

Se utilizan en la reparación de estructuras resinas naturales modificadas químicamente o sintéticos polimerizados físicamente similares, incluyendo los materiales termoplásticos tales como polivinilo, poliestireno, y polietileno y materiales termorígidos tales como poliésteres, epóxidos, y siliconas que son utilizados con los estabilizadores, pigmentos y otros componentes. ⁽¹⁰⁾

Los aceros especiales se obtienen en hornos Martín-Siemens, en crisol o en el horno eléctrico, se aportan las dosis convenientes de cromo, tungsteno, níquel, etc. Los aceros especiales, sobre todo a base de cromo y níquel de gran resistencia, tienen aplicaciones en la práctica constructiva en estructuras de puentes de gran luz, torres de gran altura y otras construcciones especiales.



CAPÍTULO II. DIAGNÓSTICO DE LAS PATOLOGÍAS DE LAS EDIFICACIONES

2.1. INTRODUCCIÓN.

Previo a la decisión del tipo de rehabilitación de una estructura se debe hacer un diagnóstico y una evaluación estructural. El diagnóstico es una *calificación del estado de una estructura*, fundamentado en las manifestaciones patológicas que se basan en los datos de inspecciones y de los ensayos *in situ* combinados con una metodología semi – empírica y basada en la ponderación de diversos factores entre los que se encuentran el nivel de los agentes agresivos, la velocidad de corrosión, el armado de la estructura⁽¹²⁾, fuerzas exteriores, esfuerzos internos, desplazamientos, deformaciones⁽¹³⁾ y la redundancia estructural.⁽¹²⁾ La evaluación estructural permitirá establecer la capacidad de la estructura en su estado actual y real, y analizar la posibilidad de llevarla a una condición deseada. Ésta debe realizarse por las siguientes razones:

a) para determinar la capacidad estructural y la integridad de la estructura o de sus elementos. Posibles resultados:

- la estructura o elementos son adecuados para el uso previsto,
- la estructura o elementos son adecuados para las cargas actuales pero no para el fin previsto, o
- la estructura no es adecuada para las cargas actuales.

b) para evaluar problemas estructurales o provenientes de un uso inadecuado o no previsto, sobrecargas, diseño inadecuado, defectos constructivos, etc.

c) para determinar la factibilidad de modificar la estructura para que cumpla con la normatividad vigente,

d) para determinar la factibilidad de un cambio de uso de la estructura o de alguna adaptación,



e) para determinar las acciones inmediatas para contrarrestar la condición que afecta la seguridad o estabilidad de la estructura.

2.2. ORIENTACIONES PARA EL DIAGNÓSTICO.

Se trata apenas de una guía de soluciones, el cual debe de ser demostrado por ensayos y pruebas químicas, físicas, mecánicas y análisis numéricos, y siempre debe ser elaborado por especialistas.

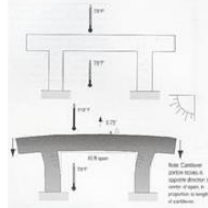
A continuación se presenta un conjunto de tablas tomadas del *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón, reparación, refuerzo y protección*, siendo los autores del mismo Paulo Helene y Ednio Pazini Figueiredo, estos que facilitan la inspección y diagnóstico de edificaciones de hormigón.

2.2.1. ACCIÓN DE LA VARIACIÓN TÉRMICA.

<p><i>Manifestación:</i></p> <p><i>fisuras o grietas por acción de la variación térmica ambiental (estacional y diaria)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Losas • Marquesinas • pared-cortina  <p>Foto 7. [Fotografía de Paulo Helene].</p>	<p><i>Diagnóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Variación de temperaturas • Contracción y dilatación volumétrica • Generación de esfuerzos de tracción • Formación de fisuras activas
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fisuras • Disminución del camino de los agentes agresivos hasta las armaduras o partes más internas del hormigón • Carbonatación, deterioro del hormigón y corrosión de las armaduras  <p>Foto 8. [Fotografía de Paulo Helene].</p>	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento térmico del elemento fisurado • Uso simultáneo de -técnica de inyección de fisuras -proyecto de junta de dilatación con mastiques/ sellantes

2.2.2. ACCIÓN DE LA TÉRMICA AMBIENTAL.

<p><i>Manifestación:</i></p>	<p><i>Diagnóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Gradiente de temperatura interno y externo
------------------------------	---

 <p>Figura 1. Helene, P. (2003). Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón [Figura]. Recuperado de https://es.scribd.com/doc/35762562/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo</p> <p><i>Fisuras en vigas, losas y columnas.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dilatación del elemento que está expuesto (coeficiente de dilatación térmica del hormigón $9 \times 10^{-6} \text{ m/m}^\circ\text{C}$) • Fisuras en los elementos que no se dilatan con el aumento de temperatura
<p><i>P r o n ó s t i c o :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Dilatación de los elementos sujetos al aumento de la temperatura • Fisuras en los elementos que restringen el aumento de la dilatación • Carbonatación, deterioro del hormigón, • Corrosión de armaduras; • Colapso parcial o total de la estructura 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento térmico del elemento sujeto a variación térmica • Sellamiento de fisuras • Creación de puentes térmicos

2.2.3. RETRACCIÓN HIDRÁULICA Y TÉRMICA.



<p><i>Manifestación</i> <i>Fisuración por retracción hidráulica y térmica</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Vigas • Losas • Columnas • Paredes-cortina 	<p><i>Diagnóstico</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta relación agua-cemento; • Alto calor de hidratación; • Exceso de vibración; • Cura mal hecha; • Disminución del volumen del hormigón; • Surgimiento de fisuras que atraviesan el elemento.
---	---

Foto 9. [Fotografía de Paulo Helene].	
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Aumento de la porosidad</i> • <i>Transporte de agentes agresivos</i> • <i>Carbonatación</i> • <i>Corrosión de las armaduras</i> • <i>Colapso de las estructuras</i> 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Analizar la actividad de las fisuras y clasificarlas como activas o pasivas;</i> • <i>Eliminar cuidadosamente el hormigón comprometido, limpiando bien la superficie</i> • <i>Efectuar protección térmica conveniente;</i> • <i>Técnicas de inyección</i> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Sellantes</i> - <i>Base epoxi</i> - <i>Base cementicia</i>

2.2.4. RETRACCIÓN HIDRÁULICA.

<p><i>Manifestación:</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Fisuración por retracción hidráulica</i></p>  <p style="text-align: center;">Foto 10. [Fotografía de Paulo Helene].</p> <p><i>Son fisuras que surgen durante las primeras horas, después del hormigonado, producto de la pérdida de su agua por evaporación. Esta disminución de volumen se produce en el hormigón aun en estado plástico, sin que haya finalizado el proceso de fraguado. También suelen aparecer fisuras de retracción durante el proceso de endurecimiento, si el elemento se encuentra coartado no puede tener libre retracción, por lo tanto las tensiones superan la resistencia a tracción del hormigón apareciendo fisuras que la seccionan. *hay que diferenciarlas de las fisuras por desecación superficial. Las cuales no atraviesan el elemento.</i></p> <p><i>Diagnóstico:</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> • <i>Secado prematuro del hormigón por curado inadecuado.</i> • <i>Alta relación agua - cemento</i> • <i>Elemento con escasa cuantía de acero de retracción.</i> • <i>Elementos muy coartados.</i> • <i>Exceso de cemento o finos.</i> • <i>Exceso de vibrado.</i> 	
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Corrosión de armaduras</i> • <i>Posibles futuras deformaciones.</i> • <i>Acortamiento de la vida útil de la viga y la estructura</i> 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Analizar la actividad de las fisuras y clasificarlas como vivas o muertas.</i> • <i>Determinar el ambiente en que se encuentran el elemento a reparar:</i> • <i>Técnica de inyección</i>

2.2.5. DESECACIÓN SUPERFICIAL


<p><i>Manifestación:</i></p> <p><i>Fisuración por desecación superficial</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Vigas</i> • <i>Losas</i> • <i>Columnas</i> • <i>Paredes/cortina</i>  <p><i>Figura 2. Viga.</i></p> <p><i>Helene, P. (2003). Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón [Figura]. Recuperado de https://es.scribd.com/doc/35762562/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo</i></p>	<p>Diagnóstico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Alta relación agua-cemento;</i> • <i>Exceso de vibración;</i> • <i>Exudación;</i> • <i>Evaporación del agua de amasado;</i> • <i>Exagerada absorción del agua por parte de lo áridos o por los encofrados.</i> • <i>Surgimiento de fisuras en las primeras horas.</i>
	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Eliminar cuidadosamente el hormigón comprometido, limpiando bien la superficie;</i> • <i>Determinar el ambiente en que se encuentra el elemento a ser reparado:</i> • <i>Efectuar protección térmica conveniente;</i> • <i>Técnicas de inyección</i>



Foto 11. Losa
[Fotografía de Paulo Helene].

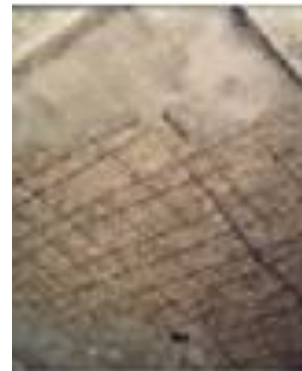
- sellantes
- base epoxi;
- *Reparo superficial generalizado*
- mortero polimérico de base cemento;
- mortero de base epoxi

Pr o n ó s t i c o :

- *Fisuras superficiales y pasivas;*
- *No ocurrencia de problemas estructurales;*
- *En caso de pisos de industriales, ocurrencia de pérdida de recubrimiento y consecuente disminución del camino de los agentes agresivos a las armaduras:*
 - *Aumento de la porosidad;*
 - *Transporte de agentes agresivos;*
 - *Corrosión de las armaduras;*
 - *Colapso de la estructura.*

2.2.6. ACCIÓN AL FUEGO.

Todas las estructuras de hormigón:



Fotos 12 y 13. [Fotografías de Paulo Helene].

Diagnóstico:

<i>Temp. (G.C.)</i>	<i>Pérdida de agua, reacciones químicas y daños</i>	<i>Color del hormigón</i>	<i>Resistencia residual en % de la resistencia inicial</i>	<i>Módulo de deformación residual en % del módulo de</i>



				<i>deformación inicial</i>
20	<i>Evaporación del agua capilar</i>	<i>Gris</i>	100	100
200				70
300			95	50
400	<i>Pérdida del agua de gel; aparición de las primeras fisuras superficiales; Ca(OH)₂ se transforma en CaO.</i>	<i>Rosa</i>	88	38
500			75	35
600			55	20
900	<i>Hormigón comienza a desagregar</i>	<i>Rojo</i>		
1000		<i>Ceniza-rojizo</i>	10	0
	<i>Hormigón desagregado, sin ninguna resistencia</i>	<i>Amarillo-anaranjado</i>	0	

<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Fisuras superficiales</i> • <i>Deformación del hormigón</i> • <i>Recubrimiento lascado</i> • <i>Deformación del acero</i> • <i>Rotura de los elementos</i> 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Apuntalamiento emergente</i> • <i>Reparo con grout o micro-concreto fluido</i> • <i>Reparo con mortero tixotrópico en forma manual</i> • <i>Refuerzo con</i> -<i>adición de armadura y</i> -<i>hormigón proyectado</i> • <i>Refuerzo con mortero o micro-concreto proyectado</i> • <i>Refuerzo con grout o micro-concreto fluido</i> • <i>Refuerzo con chapas metálicas o perfiles metálicos</i> <i>Vigas columnas losas</i> • <i>Recuperación del monolitismo con inyección de epoxi</i>
---	--

2.2.7. ACCIÓN DE AGUAS PURAS.

<p><i>Ataque por aguas puras</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Losas</i> • <i>Tanques</i> • <i>Canaletas y canales</i> • <i>Pisos</i> 	<p><i>Diagnóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Agua de lluvia, agua de deshielo, aguade condensación de vapores, aguas industriales destiladas o des-ionizadas</i>
---	---



Foto 14. [Fotografía de Paulo Helene].

- *Agua corriente o infiltrada sobre la superficie del hormigón*
- *Disolución o hidrólisis de la cal libre hidratada*
- *Lixiviación del hidróxido de calcio*
- *Disolución de los silicatos, aluminatos y ferritos hidratados que son estables en solución de Ca(OH)_2*
- *Disminución de la alcalinidad del hormigón*
- *Aumento de la porosidad del hormigón*
- *Remoción de la pasta y exposición de los áridos*

P r o n ó s t i c o :

- *Aumento de la porosidad*
- *Disminución de la resistencia*
- *Disminución de la alcalinidad del hormigón y corrosión de la armadura*
- *Exposición de los áridos en la superficie del hormigón*



Foto 15. [Fotografía de Paulo Helene].

Actuaciones correctivas:

- *Escarificación mecánica del hormigón desagregado*
- *Reparación superficial localizada y-o superficial generalizada*
- *Reparación profunda localizada y-o profunda generalizada*
- *Protección superficial del hormigón*

2.2.8. REACCIÓN CON SULFATOS.

--	--

Ataque por sulfatos

- *Cualquier estructura de hormigón expuesta a aguas residuales industriales o suelos sulfatados, agua de mar o lluvias con polución urbana*
- *Cimentaciones*



Foto 16. [Fotografía de Paulo Helene].



Foto 17. [Fotografía de Paulo Helene].

Pronóstico:

- *Fisuras aleatorias en la superficie*
- *Exfoliación superficial*
- *Reducción significativa de la dureza y de la resistencia superficial*
- *Reducción del pH del extracto acuoso de los poros superficiales*
- *Corrosión de la armadura*
- *Pérdida de cohesión de la pasta de cemento*
- *Pérdida de la adherencia entre la pasta de cemento y las partículas de agregado*

Diagnóstico:

- *Interacción del sulfato con los hidróxidos de calcio libre y con los aluminatos de calcio hidratados (1 y 2)*
- *Formación de la gibsita y de la etringita secundaria (3)*
- *Aumento de volumen de los sólidos provocando la expansión (3)*
- *Fisuración continua y severa*
-

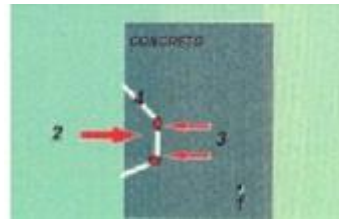


Figura 3. Helene, P. (2003). Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón [Figura]. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/35762562/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo>

Exposición	Concentración de sulfatos	
	No solo (%)	Na agua (ppm)
Leve	< 0,1	< 150
Moderado	0,1 a 0,2	150 a 1500
Severa	0,2 a 2,0	1500 a 10000
Muy severa	>2,0	>10000


Actuaciones correctivas:

- *Remoción del hormigón con tenor de sulfatos > 5%*
- *Reparación superficial localizada y/o superficial generalizada*
- *Protección superficial del hormigón*

Prevención:


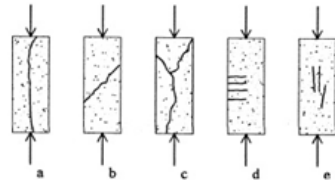
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Disminución de la resistencia del hormigón</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Especificar cimentos con bajo tenor de C3A</i> • <i>Especificar consumo mínimo de cemento</i> • <i>Especificar bajas relaciones a/c</i> • <i>Especificar cemento puzolánico</i>
---	---

2.2.9. EFLORESCENCIA.



<p><i>Manifestación</i></p> <p><i>Losas Tanques</i> <i>Muros de contención de suelo</i></p> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 20px;">   </div> <p>Foto 18 y 19. [Fotografías de Paulo Helene].</p> <p><i>Diagnóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Agua infiltrada bajo presión a través de la porosidad del hormigón o fisuras</i> • <i>Disolución o hidrólisis de la cal libre hidratada hidróxido de calcio de la superficie del hormigón –lixiviación</i> • <i>Acumulo de solución saturada de hidróxido de calcio en la superficie del hormigón -eflorescencias</i> • <i>Carbonatación del hidróxido de calcio en la superficie del hormigón</i> $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Formación de manchas blancas – eflorescencias- por acumulo de carbonatos en la superficie del hormigón</i> • <i>Formación de estalactitas - lixiviación - en las zonas de mayor porosidad</i> • <i>Disminución del pH del hormigón</i> • <i>Corrosión de la armadura</i> 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>No intervenir en el caso de auto-cicatrización de fisuras</i> • <i>Eliminación de la fuente de agua que penetra en el hormigón</i> • <i>Impermeabilización de la superficie en contacto con la fuente de agua</i> • <i>Limpieza superficial del hormigón</i> • <i>Sellado superficial de fisuras</i>

	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Reparación profunda localizada de regiones con corrosión de armaduras</i>
--	--

2.2.10. ACCIÓN DE CARGAS EXTERIORES – COMPRESIÓN.

<p><i>Compresión de columnas</i></p>  <p>Foto 20. [Fotografía de Paulo Helene].</p>	<p><i>Diagnóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Actuación de sobrecargas</i> • <i>Formación de fisuras dependientes de la esbeltez y del grado de anclaje transversal de los extremos de la estructura</i>  <p><i>Figura 4. Helene, P. (2003). Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón [Figura]. Recuperado de https://es.scribd.com/doc/35762562/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo</i></p> <p><i>Tipologías:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. "a", "b", "c": <i>elementos más esbeltos</i> 2. "d": <i>estructura esbelta con pandeo lateral</i> 3. "e": <i>en el caso de columnas las fisuras paralelas a la directriz de la estructura y no coincidentes con la posición de las armaduras, apareciendo cuando las cargas están en el orden de 85% a 90% de la resistencia del pilar</i>
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Fisuras</i> • <i>Transporte de agentes agresivos</i> • <i>Carbonatación</i> • <i>Corrosión de las armaduras</i> • <i>Colapso de la estructura</i> 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Eliminación de la sobrecarga</i> • <i>Refuerzo con hormigón convencional y aumento de la sección</i> • <i>Refuerzo con hormigón proyectado y aumento de sección</i> • <i>Refuerzo con chapas coladas</i>

2.2.11. ACCIÓN DE CARGAS EXTERIORES – COMPRESIÓN.

<p><i>Compresión en vigas</i></p>  <p>Foto 21. [Fotografía de Paulo Helene].</p>	<p><i>Diagnóstico</i></p>  <p><i>Figura 5. Helene, P. (2003). Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón [Figura]. Recuperado de https://es.scribd.com/doc/35762562/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Hormigón de resistencia inadecuada;</i> • <i>Sobrecargas no previstas.</i>
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Fisuras</i> • <i>Transporte de agentes agresivos</i> • <i>Carbonatación</i> • <i>Corrosión de las armaduras</i> • <i>Colapso de la estructura</i> 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Eliminación de la sobrecarga</i> • <i>Refuerzo</i> <ul style="list-style-type: none"> - <i>con hormigón convencional y aumento de la sección</i> - <i>con hormigón proyectado y aumento de sección</i> - <i>con nueva armadura longitudinal y estribos más re-hormigonado;</i> - <i>con chapas coladas</i> • <i>Eventualmente demoler y reconstruir</i>

2.2.12. ACCIÓN DE CARGAS EXTERIORES – FLEXIÓN Y CORTANTE.

Flexión y cortante en vigas



Foto 22. [Fotografía de Paulo Helene].

Diagnóstico:

- *Actuación de sobrecargas*
- *Solicitaciones de flexión pura o por la combinación de flexión y cortante*
- *Fisuras por flexión pura en el medio del vano que terminan en la posición de la línea neutra*
- *Fisuras debido a la combinación de la flexión y cortante inclinadas y se localizan entre el medio del vano y el apoyo*
- *Fisuras por cortante inclinadas en el orden de uso y que se localizan próximas al apoyo*

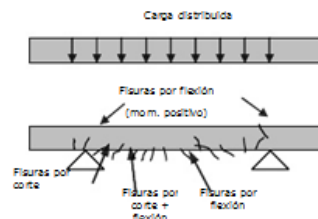


Figura 6. Helene, P. (2003). *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón* [Figura]. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/35762562/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo>

Pronóstico:

- *Fisuras*
- *Transporte de agentes agresivos*
- *Carbonatación*
- *Corrosión de las armaduras*
- *Colapso de la estructura*

Actuaciones correctivas:

- *Eliminación de la sobrecarga*
- *Refuerzo*
 - *con hormigón convencional y aumento de la sección*
 - *con chapas coladas*
 - *con hormigón proyectado y aumento de sección*

2.2.13. ACCIÓN DE CARGAS EXTERIORES – FLEXIÓN.

Flexión en losa

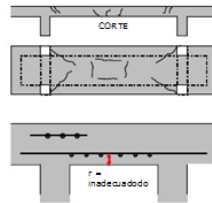


Figura 7. Helene, P. (2003). Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón [Figura]. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/35762562/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo>

Diagnóstico:

- Losa muy flexible en estructuras ejecutadas por el proceso de encofrados tipo túnel;
- Juntas de hormigonado mal ejecutadas;
- Armadura insuficiente;
- Armadura insuficiente o mal posicionada;
- Ancoraje longitudinal insuficiente;
- Desencofrado antes de tiempo;
- Sobrecargas no previstas;
- Fisuras.

Pronóstico:

- Fisuras
- Transporte de agentes agresivos
- Carbonatación
- Corrosión de las armaduras
- Colapso de la estructura

Actuaciones correctivas:

- Eliminación de la sobrecarga
- Preparar y limpiar adecuadamente la superficie
- Refuerzo
 - con hormigón convencional y aumento de la sección
 - con hormigón proyectado y aumento de sección
 - con chapas coladas o armaduras embutidas




2.2.14. ACCIÓN DE CARGAS EXTERIORES – MOMENTO TORSOR.

Momento torsor en losas

- Losas


Diagnóstico:

- Armadura de canto insuficiente;
- Protección térmica insuficiente.

 <p><i>Figura 8. Vista superior de losa apoyada. Helene, P. (2003). Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón [Figura]. Recuperado de https://es.scribd.com/doc/35762562/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo</i></p>	  <p>Fotos 23 y 24. [Fotografías de Paulo Helene].</p>
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fisuras; • Transporte de agentes agresivos; • Carbonatación • Corrosión de las armaduras • Colapso de la estructura 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Preparar y limpiar adecuadamente la superficie • Reforzar cantos con nueva armadura a 45°; • Efectuar protección térmica conveniente.

2.2.15. ACCIÓN DE CARGAS EXTERIORES – TORSIÓN.

<p><i>Torsión en vigas</i></p>	<p><i>Diagnóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Actuación de sobrecargas • Se presenta en conjunto con sollicitaciones de flexión y cortante generando tensiones tangenciales a la estructura, de forma similar a aquellas originadas por los esfuerzos de cortante • Fisuras a 45° en todas las caras del elemento, de forma helicoidal,
--------------------------------	--

 <p>Foto 25. [Fotografía de Paulo Helene].</p>	<p><i>propagándose arriba de la línea neutra</i></p>
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Fisuras</i> • <i>Transporte de agentes agresivos</i> • <i>Carbonatación</i> • <i>Corrosión de las armaduras</i> • <i>Colapso de la estructura</i> 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Eliminación de la sobrecarga</i> • <i>Refuerzo con hormigón convencional y aumento de la sección</i> • <i>Refuerzo con hormigón proyectado y aumento de la sección</i> • <i>Refuerzo con chapas coladas</i>

2.2.16. ADHERENCIA Y ANCLAJE.

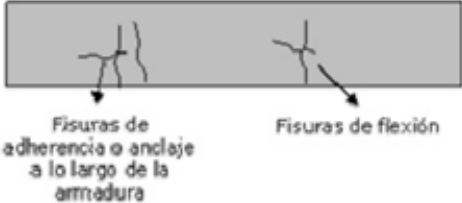
<p>Manifestación:</p> <p><i>En vigas, columnas y losas.</i></p> <p><i>Diagnóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Actuación de sobrecargas</i> • <i>Hormigón con resistencia inadecuada</i> • <i>Anclaje insuficiente</i> • <i>Exudación en la parte inferior de las armaduras horizontales</i> • <i>Deficiencia de la altura de los nervios</i> • <i>Pérdida de la adherencia entre la armadura y el hormigón</i> • <i>Apuntalamiento</i> • <i>Fisuras próximas a las armaduras</i> <div style="text-align: center;">  </div>

Figura 9. Helene, P. (2003). Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón [Figura]. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/35762562/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo>

P r o n ó s t i c o :

- *Fisuración*
- *Transporte de agentes agresivos*
- *Carbonatación*
- *Corrosión de las armaduras*
- *Colapso de la estructura*

A c t u a c i o n e s c o r r e c t i v a s :

- *Eliminación de la sobrecarga*
- *Refuerzo con hormigón convencional y aumento de la sección*
- *Refuerzo con hormigón proyectado y aumento de sección*
- *Refuerzo con chapas coladas*

2.2.17. CORROSIÓN DE ARMADURAS – CARBONATACIÓN.

Carbonatación

- *Cualquier estructura de hormigón*



Fotos 26 y 27. [Fotografías de Paulo Helene].

Diagnóstico:

- *Acceso del CO₂ en la atmósfera a través de la porosidad y fisuras del hormigón*
- *Presencia de humedad en los poros del hormigón*
- *Reacción del CO₂ de la atmósfera con de los componentes alcalinos de la pasta de cemento hidratada*
- *Formación de carbonatos*
- *Disminución del pH del hormigón*
- *Despasivación de la armadura*



<ul style="list-style-type: none"> • <i>Corrosión</i> 	
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Aumento del espesor al frente de la carbonatación</i> • <i>Reducción del pH del hormigón</i> • <i>Despasivación de la armadura</i> • <i>Formación de productos de corrosión</i> • <i>Generación de tensiones internas</i> • <i>Fisuras en el hormigón</i> • <i>Desplazamiento del recubrimiento</i> 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Remoción del hormigón carbonatado</i> • <i>Reparación superficial generalizada</i> • <i>Refuerzo con armadura extra o sustitución</i> • <i>Re-alkalinización del hormigón</i> • <i>Protección superficial del hormigón</i>

2.2.18. CORROSIÓN DE ARMADURAS – CLORUROS.

<p><i>Ataque por cloruros</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Cualquier estructura de hormigón armado</i> <p><i>Diagnóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Origen de la presencia de los cloruros en el hormigón:</i> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Contaminación de los áridos o del agua de amasado o uso de aditivo acelerador de fraguado de base CaCl₂</i> - <i>Ingreso por medio externo marino, uso de sales de deshielo o atmósferas industriales</i> • <i>Combinación de cierta cantidad de los cloruros con los aluminatos del cemento</i> • <i>Formación del cloro-aluminato o sal de Friedel</i> • <i>Tenores de Cl⁻ superiores a 0,4% en relación a la masa de cemento llevan a la despasivación de la armadura</i> • <i>Corrosión de la armadura</i> 	
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Aumento de la humedad interna y de la conductividad eléctrica del hormigón</i> • <i>Aumento de la tasa de disolución del acero</i> • <i>Formación de productos de corrosión</i> • <i>Producción de tensiones internas</i> • <i>Fisuras del hormigón</i> 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Reparación superficial localizada y-o superficial generalizada</i> • <i>Reparación profunda localizada y/o profunda generalizada</i> • <i>Refuerzo</i> • <i>Extracción electroquímica de cloruros</i> • <i>Protección catódica de los materiales y los sistemas</i>

<ul style="list-style-type: none"> • <i>Desplazamiento del recubrimiento</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Protección superficial del hormigón</i>
---	--

2.2.19. FALLOS POR CORTANTE.

Cortante



Foto 28. [Fotografía de Paulo Helene].

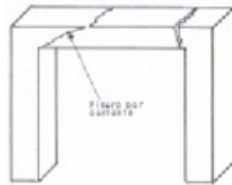


Figura 10. Helene, P. (2003). Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón [Figura]. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/35762562/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo>

- *La fisura o grieta toma una inclinación comprendida entre 45 grados y 75 grados, dirigiéndose al apoyo y seccionando la viga en su cara lateral y en la inferior. La mayor abertura estará en la zona de tracción.*
- *Las fisuras originadas dependerán de la cuantía de acero longitudinal, la cantidad del mismo que llegue al apoyo y del número de estribos, espaciamiento y forma de elaboración.*

D i a g n ó s t i c o :

- *Sobrecargas no previstas.*
- *Sección insuficiente de la viga.*
- *Hormigón de resistencia inadecuada.*
- *Cuantía de acero longitudinal insuficiente.*
- *Desencofre prematuro.*
- *Estribos insuficientes, tener menor diámetro del exigido o escasa longitud de anclaje al cerrarlo.*

P r o n ó s t i c o :


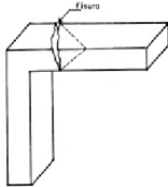
- *Deformaciones irreversibles.*
- *Posible colapso de la viga.*

- *Corrosión de armadura.*


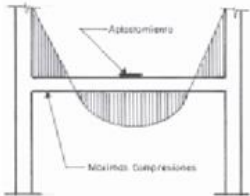
Actuaciones correctivas:

- *Analizando adecuadamente el elemento estructural podrá ser necesario:*
 - *apuntalar el elemento para poder realizar la rehabilitación.*
 - *reforzar vigas por cortante*
 - *eventualmente, demoler y reconstruir*

2.2.20. FALLOS POR FLEXIÓN Y TORSIÓN.

<p><i>Flexión y torsión</i></p>  <p>Foto 29. [Fotografía de Paulo Helene].</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Fallo muy grave, la rotura puede ser rápida.</i> • <i>Las fisuras toman distintas inclinaciones en cada cara de la viga, se presentan en elementos que pueden ser vigas de borde o vigas en voladizo que se sometan a fuertes momentos flectores y de torsor.</i> 	<p><i>Diagnóstico:</i></p>  <p><i>Figura 11. Helene, P. (2003). Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón [Figura]. Recuperado de https://es.scribd.com/doc/35762562/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Anclaje insuficiente.</i> • <i>Acero de refuerzo mal posicionado en el diseño o en la ejecución.</i> • <i>Sobrecarga no prevista.</i> • <i>Acero de refuerzo insuficiente.</i> • <i>No consideración de los esfuerzos de torsión.</i> • <i>Hormigón de resistencia inadecuada.</i>
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Deformaciones irreversibles.</i> • <i>Posible colapso de la viga,</i> • <i>La armadura se puede corroer aumentando el riesgo de colapso.</i> 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <p><i>Después de analizar adecuadamente el elemento estructural puede ser necesario:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Apuntalar el elemento para poder realizar la rehabilitación.</i> • <i>Reforzar viga por flexión y torsión</i> • <i>Eventualmente, demoler y reconstruir.</i>

2.2.21. FALLOS POR COMPRESIÓN.

<p><i>Compresión</i></p>  <p>Foto 30. [Fotografía de Paulo Helene].</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se presentan fisuras en la zona de compresión por aplastamiento del hormigón, aunque tienen apariencias inofensivas, son muy peligrosas. • Suele suceder en vigas de poca sección de hormigón y cuantía elevada de acero. Cuando son fisuras grandes y el hormigón llega al agotamiento, se produce la rotura brusca. • Estas vigas le acompañan problemas de cortante y deformaciones. 	<p><i>Diagnóstico:</i></p>  <p>Figura 12. Helene, P. (2003). Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón [Figura]. Recuperado de https://es.scribd.com/doc/35762562/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cálculo deficiente. • Exceso de carga. • Sección insuficiente con cuantías muy elevadas de acero en la zona de tracción. • Hormigón de menor resistencia con abundante acero en zona de tracción.
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • La armadura se puede corroer, agravándose la situación. • Deformaciones irreversibles de la viga. • Posible colapso. 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <p>Después de analizar adecuadamente el elemento estructural, podrá ser necesario:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reforzar la viga por compresión • Eventualmente, demoler y reconstruir.

2.2.22. FALLAS CONSTRUCTIVAS – OQUEDADES SUPERFICIALES.

<p>Oquedades superficiales por mal hormigonado</p>	<p><i>Diagnóstico:</i></p>
--	----------------------------

<ul style="list-style-type: none"> • <i>Cualquier tipo de estructuras</i>  <p>Foto 31. [Fotografía de Paulo Helene].</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Hormigón con dosificación inadecuada</i> • <i>Dimensión máxima característica de los áridos mayor que el espaciamiento de la armadura</i> • <i>Hormigón vertido de alturas superiores a 2,50 m</i> • <i>Compactación inadecuada: excesiva o deficiente</i>  <p>Foto 32. [Fotografía de Paulo Helene].</p>
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Áridos gruesos sin cohesión</i> • <i>Armaduras aparentes</i> • <i>Hormigón poroso</i> • <i>Disminución de la resistencia del hormigón</i> • <i>Carbonatación</i> • <i>Corrosión de las armaduras</i> 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>reparación superficial localizada con mortero polimérico, o de base epoxica u otros.</i> • <i>reparación profunda localizada con mortero de base cemento u hormigón.</i> • <i>revestimiento de protección</i>
<p><i>Oquedades superficiales por deficiencias en el detalle – o posicionamiento de la armadura</i></p>  <p>Fotos 33 y 34. [Fotografías de Paulo Helene].</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Zonas vacías en las caras del elemento, donde en algunos casos pudieran estar los aceros a vista.</i> <p><i>Diagnóstico:</i></p>	

- *Errores en el diseño y-o colocación de las barras de acero.*

P r o n ó s t i c o :

- *Por falta de continuidad de la masa de hormigón y su debida adherencia se pierde el monolitismo de la sección del elemento.*
- *Se crean juntas frías que pueden dar lugar a la penetración fácil de agentes corrosivos del acero.*

A c t u a c i o n e s c o r r e c t i v a s :

- *eliminación del hormigón segregado hasta llegar al hormigón sano*
- *limpiar bien las superficies.*
- *reparación superficial localizada con mortero polimérico, o de base epoxica u otros.*
- *reparación profunda localizada con mortero de base cemento u hormigón.*
- *revestimiento de protección*

2.2.23. FALLAS CONSTRUCTIVAS – DEFICIENCIA EN EL POSICIONADO DE LA ARMADURA.

Armaduras aparentes

- *Columnas*
- *Losas*
- *Vigas*
- *Muros*



Foto 35. Fotografía de Paulo Helene].

Diagnóstico

- *Falta de colocación de espaciadores*
- *Armaduras amasadas o dislocadas debido al tránsito de los operarios*
- *Armaduras aparentes en el momento de la retirada de los encofrados*

Pronóstico:

- *Ausencia de recubrimiento o recubrimiento inadecuado*
- *Fisuras paralelas a las armaduras*
- *Pérdida del recubrimiento*
- *Carbonatación*
- *Corrosión*



Fotos 36 y 37. [Fotografías de Paulo Helene].

Actuaciones correctivas:

- *Remoción del hormigón desagregado*
- *Limpieza de la armadura*
- *Reparación superficial localizada*
- *Reparación profunda localizada*
- *Protección superficial*

2.2.24. CORRIMIENTO DE LOS ACEROS.



Foto 38. *Corrimientos de los aceros en vigas*
[Fotografía de Paulo Helene].

- *Aparición de fisuras cerca del apoyo a causa de un agarre insuficiente de los cercos al tener una longitud de anclaje pequeña.*
- *El fallo se produce por cortante, la ausencia del cerco produce la fisura y aunque sea muy fina no deja de ser peligrosa.*

Diagnóstico:

- *Colocar cercos sin cerrar o con escasa longitud de anclaje.*
- *Anclaje insuficiente.*
- *Mala adherencia del acero de refuerzo con el hormigón.*
- *Sobrecarga no prevista.*
- *Resistencia inadecuada del hormigón.*

Pronóstico:

- *La armadura se puede corroer.*


- *Reducción de la capacidad portante del elemento.*
- *Acortamiento de la vida útil, salvo que se realicen las reparaciones adecuadas.*

Actuaciones correctivas:

Después de analizar adecuadamente el elemento estructural y el medio ambiente donde se encuentre, podrá ser conveniente:

- *reforzar la viga aumentando su rigidez.*
- *eventualmente, demoler y reconstruir.*

2.2.25. FALLAS CONSTRUCTIVAS – DEFICIENCIA EN LA DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN.

 <p>Foto 39. Retracción plástica en la cabeza de la columna por deficiencia en la dosificación del hormigón. [Fotografía de Paulo Helene].</p>	<p><i>Diagnóstico:</i></p> <p><i>Las fisuras horizontales en la cabeza de columnas que surgen durante el fraguado, se denominan de retracción plástica. Cuanto más alta es la columna y más fluido es el hormigón, mayor cantidad de agua se acumula en la parte superior, lo que facilita la aparición de daños</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Exceso de vibrado.</i> • <i>Alta relación agua/cemento.</i> • <i>Hormigonado defectuoso en la cabeza de la columna.</i>
<p><i>Pronóstico:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Se puede producir el aplastamiento de la cabeza de la columna al no tener el hormigón la resistencia adecuada.</i> • <i>Deformaciones plásticas de la cabeza de la columna.</i> • <i>Posibilita la corrosión de la armadura</i> 	<p><i>Actuaciones correctivas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Inyección de resina epoxi</i> • <i>Sellar fisuras con sellantes elásticos de base uretano o polisulfuros</i>

2.3. ORIENTACIÓN SOBRE LOS SISTEMAS DE INTERVENCIÓN.

El desarrollo de este numeral es en base al *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón, reparación, refuerzo y protección*, siendo los autores del mismo Paulo Helene y Ednio Pazini Figueiredo.

En toda intervención estructural, la diagnosis previa es la base del conocimiento del edificio, de su estado de conservación, de las lesiones que presenta y de las causas que las han provocado. Es sobre esta diagnosis precisa, contrastada y fiable, que nos apoyaremos para determinar las soluciones más idóneas a aplicar en cada caso. ⁽¹¹⁾

2.3.1. TIPOS DE INTERVENCIONES.

Para conseguir una correcta elección de las técnicas y materiales de intervención más adecuados, hay que determinar previamente la función o funciones que estas deberán cumplir una vez en servicio. ⁽¹⁴⁾

Por las características de los trabajos a realizar y por su mayor o menor incidencia en los aspectos estructurales, podemos optar por cinco alternativas o tipos de intervención genéricos que comportan en sí mismas unas formas de actuar sensiblemente diferenciadas. A grandes rasgos, estos grupos de soluciones los podemos resumir en los conceptos siguientes: ⁽¹⁴⁾

2.3.1.1. Actuaciones de urgencia.

Consideraremos en este grupo las actuaciones que hay que realizar, de forma rápida, para subsanar lesiones que pueden resultar peligrosas para el uso del edificio o para dar respuesta a una necesidad urgente en la funcionalidad del elemento estructural. En muchas ocasiones este tipo de actuación tiene un carácter de provisionalidad y su objetivo prioritario es el de mantener en servicio y/o evitar riesgos a los usuarios durante el tiempo que se realiza la diagnosis, se redacta el proyecto y se ejecuta la actuación definitiva. En otros casos, se plantean como intervenciones que deben permanecer en el tiempo. ⁽¹⁴⁾



Foto 40. Los trabajos de apuntalamiento estructural resultan en muchos casos comprometidos y requieren de una definición precisa [Fotografía de Paulo Helene].

2.3.1.2. Actuaciones de prevención y/o protección.

Se trata de intervenciones que tienen como objetivo dar una protección a los componentes estructurales para evitar o reducir la progresión de su proceso de

degradación o protegerlos contra el fuego, atmósferas agresivas, corrosión, desgaste superficial, otros. Bajo este concepto, se pueden plantear diferentes variantes; así, se puede actuar protegiendo directamente el elemento estructural, actuando sobre su entorno, limitando las cargas de uso y planteando un seguimiento o control periódico en sus puntos críticos. ⁽¹⁴⁾



Foto 41. Protección del acero contra la corrosión. [Fotografía de Superciencia.com]

Las limitaciones en el uso pueden resultar muy útiles para estructuras que no se encuentren en situaciones límite.

2.3.1.3. Actuaciones de reparación.

Cuando la degradación ha afectado al elemento estructural, debemos plantearnos una reparación de la zona afectada para recuperar sus prestaciones iniciales que sea adecuada a sus funciones estructurales. La complejidad e importancia de este tipo de actuaciones puede resultar muy variable, en función de las características del elemento, de su ubicación y de su estado de degradación. ⁽¹⁴⁾



Fotos 42 y 43. [Fotografías de Paulo Helene].

Las reparaciones aplicadas a las zonas degradadas resultan complejas y requieren de una diagnosis muy precisa para determinar la extensión de los trabajos.

2.3.1.4. Actuaciones de refuerzo.

Cuando nos encontramos ante errores en el cálculo o ante nuevas solicitaciones que superan las inicialmente previstas para los elementos estructurales, debemos recurrir a la incorporación de nuevos componentes estructurales, mediante sistemas de refuerzo adecuados. ⁽¹⁴⁾



Fotos 44 y 45. El incremento de la capacidad portante mediante pletinas metálicas o fibras de carbono se ha convertido en una de las actuaciones de refuerzo más frecuentes [Fotografías de Paulo Helene].

Los refuerzos de hormigón en algunos casos y los perfiles metálicos en otros, son también recursos adoptados en muchas de las reparaciones de las estructuras de hormigón. ⁽¹⁴⁾



Fotos 46 y 47. [Fotografías de Paulo Helene]

2.3.1.5. Actuaciones de sustitución.

Cuando la incapacidad estructural resulta manifiesta y el refuerzo difícilmente aplicable, se opta por la sustitución de la estructura. Esta sustitución se puede realizar eliminando físicamente el elemento estructural y sustituirlo por otro nuevo o, lo que resulta más sencillo, anulando su función mecánica actual mediante la introducción de nuevos elementos resistentes. ⁽¹⁴⁾

Dada la complejidad de los componentes estructurales de un edificio y la diversidad de situaciones que puede presentar, resulta habitual encontrarse ante la necesidad de aplicar varias de estas opciones conceptualmente definidas. ⁽¹⁴⁾



Foto 48. La sustitución funcional de estructuras de hormigón debe considerarse como un último recurso. Si bien a menudo hay que recurrir a él por resultar irreversible el proceso patológico que sufre el elemento [Fotografía de Paulo Helene].

2.3.2. ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA ELECCIÓN.

Por lo general, las posibles soluciones a un determinado problema estructural son diversas y se nos presentan diversas alternativas igualmente válidas, eficaces y viables. Dado que no existe, prácticamente, normativa específica pensada para actuaciones de rehabilitación, en la toma de decisiones es importante "pisar sobre seguro", y cargarse de razones en la toma de decisiones. En todos los casos se requieren unos criterios de valoración complementarios con los que determinar la opción que se ajusta mejor a nuestras circunstancias. De forma genérica podríamos considerar los siguientes aspectos:⁽¹⁴⁾

2.3.2.1. Aspectos técnicos.

Se trata del criterio fundamental a tener en cuenta en la toma de decisiones. En este sentido, la solución debe garantizar:⁽¹⁴⁾

- *Respuesta correcta a las limitaciones y exigencias estructurales que nos plantea el edificio y sus componentes.*
- *Vida útil de servicio acorde con las necesidades del uso previsto.*
- *Prestaciones técnicas adecuadas al uso y al entorno en aspectos de impermeabilidad y de protección contra el fuego.*
- *Correcto tratamiento de las alteraciones en el funcionamiento del sistema estructural, durante la intervención o como resultado de ella.*
- *Calidad contrastada de los materiales y de las técnicas a aplicar.*
- *Compatibilidad físico-química de los materiales previstos en la intervención con los materiales existentes.*
- *Seguimiento en servicio y mantenimiento razonables para el tipo de edificio a intervenir.*

2.3.2.2. Aspectos económicos.

En el caso frecuente en donde diversas alternativas técnicamente correctas puedan ser aplicadas, el coste económico de cada una de ellas puede resultar clave en la toma de decisiones. Establecer un cuadro comparativo entre la efectividad y prestaciones que nos ofrecen



las diferentes alternativas, juntamente con el coste económico de cada una de ellas acostumbra a resultar muy clarificador. ⁽¹⁴⁾

Hay que tener siempre presente que el coste a considerar debe ser siempre el de toda la operación, incluyendo los materiales y su correcta aplicación. También los parámetros de efectividad, durabilidad y posibles costes de mantenimiento deben ser analizados a lo largo de la vida útil, es decir, el coste global de la intervención. ⁽¹⁴⁾

2.3.2.3. Aspectos operativos.

Cuando nos planteamos la valoración de una solución no podemos olvidar las limitaciones que esta nos puede presentar en el sentido operativo, como son: ⁽¹⁴⁾

- *Accesibilidad al elemento a intervenir en cuanto a las operaciones previas y los medios auxiliares necesarios.*
- *Operaciones complementarias de necesaria realización durante la fase de ejecución como pueden ser bombeos, decapados, otros.*
- *Disponibilidad de los recursos tecnológicos en el ámbito territorial o país donde esté ubicada la obra.*
- *Capacidad, conocimientos y medios técnicos de la empresa constructora que debe hacerse cargo de los trabajos.*
- *Disponibilidad de mano de obra en el lugar con las habilidades, nivel de adiestramiento y experiencia necesarias.*
- *Disponibilidad de personal técnico capacitado para la coordinación, control y toma de decisiones durante la fase de ejecución de la obra.*
- *Capacidad para seguir los plazos de ejecución establecidos para insertar los trabajos estructurales dentro de otras operaciones más amplias.*
- *Adecuación funcional del espacio donde se va a llevar a cabo la actuación (alturas libres, anchos de paso, otros) y de acceso para los medios auxiliares, personal y suministros necesarios.*
- *Consideración de las variables climáticas y termo higrométricas de la zona en cuanto a la posible incidencia en la intervención prevista.*

2.3.2.4. Aspectos arquitectónicos.

Algunas de las soluciones a nuestro alcance para la intervención en estructuras de hormigón, comportan una alteración de su forma, de su volumen, de su textura superficial o de su color. En algunos casos estas alteraciones no tienen importancia, pero en otros (hormigón visto, estructuras formalmente aparentes) provocarán una modificación en los aspectos arquitectónicos y artísticos del edificio, que pueden hacer inviables soluciones técnica, económica y funcionalmente recomendables. Así mismo, el valor de testimonio histórico que algunos edificios y estructuras de hormigón han adquirido con el tiempo exige un estudio cuidadoso de las posibles alternativas aplicables, teniendo muy presente evitar alteraciones estéticas en el resultado final. ⁽¹⁴⁾



En estos casos analizar la reversibilidad, entendida como la cualidad de una intervención de poder ser eliminada sin dejar secuelas de orden físico o químico en el material intervenido, puede resultar importante. ⁽¹⁴⁾

2.3.2.5. Aspectos medioambientales.

Los requerimientos medioambientales se están incorporando de una forma decidida en el sector de la construcción. En las intervenciones en estructuras de hormigón este aspecto puede resultar determinante en algunos casos.

Debemos diferenciar dos situaciones complementarias: la fase de ejecución, y la de utilización y mantenimiento. ⁽¹⁴⁾

En la fase ejecución debemos escoger materiales de bajo impacto ambiental y que no impliquen riesgo de toxicidad para los aplicadores, evitar la demolición y minimizar la producción de residuos, no causar contaminación acústica hacia el entorno, evitar la contaminación del aire o del agua durante los trabajos y racionalizar el consumo energético del proceso. En este análisis debemos considerar el ciclo de vida de todos y cada uno de los componentes a emplear. ⁽¹⁴⁾

Durante el periodo de uso, las soluciones aplicadas no deben resultar tóxicas ni nocivas para la salud de las personas ni comportar consumos energéticos superiores a los habituales.

El seguimiento de estos parámetros de decisión a menudo nos orientará hacia soluciones de menor impacto y nos pueden descartar algunas que se habían consolidado como habituales.

Minimizar la producción de residuos y gestionarlos correctamente es una actitud de respeto por el medio ambiente que hay que mantener a lo largo de todos los trabajos.

2.3.3. APUNTALAMIENTOS Y ACTUACIONES DE URGENCIA.

Los medios auxiliares por los que las cargas deben ser transmitidas previamente, durante o después de la intervención, son los primeros que se olvidan en los documentos de proyecto dado su carácter de provisionalidad. La importancia de estas operaciones que asumen un papel de anestesia de la estructura y de garantía de seguridad, nos exige estudiarlos y plantearlos con el máximo rigor profesional, ajustándolos a la solución o soluciones escogidas. En este sentido debemos dimensionar correctamente los elementos de apuntalamiento y emplazarlos en los puntos precisos para asegurar su comportamiento estructural correcto sin dificultar los trabajos a realizar. La consideración de la geometría y armado de las piezas, y de su funcionamiento estático, en el momento de apuntalar, será la forma de evitar daños a menudo irreparables como consecuencia de provocar cambios en su sistema de trabajo para los que no está capacitado. Asegurar un descenso de cargas correcto entre los diferentes

elementos del edificio hasta su llegada al terreno, evitando provocar deformaciones, asentamientos o sobre tensiones localizadas sean en los elementos de apuntalamiento o en la propia estructura, es también imprescindible.

2.3.4. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS.

Sean cuales sean las técnicas y los materiales a emplear, desde el punto de vista constructivo resulta necesario definir los detalles del funcionamiento estructural de cada componente y sobre todo de las interconexiones entre ellos. ⁽¹⁴⁾

En las intervenciones de refuerzo y de sustitución estos aspectos alcanzan su mayor importancia y hay que preparar detalles constructivos que muestren con claridad los sistemas de apoyo y de transmisión de los esfuerzos hacia los nuevos elementos resistentes. Conseguir que los refuerzos o los nuevos elementos estructurales absorban las tensiones previstas en el cálculo no siempre es tarea fácil y su eficacia depende esencialmente del diseño de unas soluciones constructivas correctas y adaptadas a las circunstancias del caso. Una buena definición de los diferentes detalles constructivos resulta imprescindible para alcanzar los resultados esperados y evitar errores de ejecución. ⁽¹⁴⁾



Foto 49. [Fotografía de Paulo Helene].

2.3.5. ORGANIGRAMA DE DECISIONES Y FACTORES A TENER EN CUENTA.

El árbol de decisiones y factores a tener en cuenta fue tomado del *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón, reparación, refuerzo y protección*, siendo los autores del mismo Paulo Helene y Fernanda Pereira.



2.4. ESTUDIO Y EVALUACIÓN DEL INFORME DE DIAGNOSIS DE LAS PATOLOGÍAS DE LA EDIFICACIÓN REALIZADO POR EL ING. GABRIEL GARCÍA.

El objetivo principal de la diagnosis es la determinación de las características y condiciones a la fecha cuando se realizó el informe de los materiales que componen los elementos estructurales de la edificación. Esta información es el sustento para realizar el modelo de análisis de la estructura.



La finalidad de la diagnosis es obtener sustento técnico para la elaboración de un proyecto de reforzamiento – rehabilitación y protección adecuado para la estructura, es decir, que el proyecto sea capaz de generar una vida útil necesaria de acuerdo a los parámetros de importancia en el tiempo.

Se realizaron ensayos de tipos destructivos, semi-destructivos y no destructivos de columnas y vigas, además se realizó una revisión general de las partes afectadas por procesos congénitos (diseño, materiales, ejecución y mantenimiento).

Los ensayos realizados fueron: carbonatación, adherencia, potencial de corrosión, levantamiento de fisuras y esclerometría.

2.4.1. EN EL ENSAYO DE CARBONATACIÓN.

Debido a la carbonatación puede generarse la disminución de pH en el hormigón (pH menor o igual a 9) lo que provoca la pérdida de la pasividad del acero y empieza a comprometerse la adherencia entre el acero y el concreto. La carbonatación ocurre como resultado de la reacción química entre el hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y otros álcalis (Sodio y Potasio) presentes en la solución de los poros con el dióxido de carbono (CO_2) atmosférico.

Como resultado de esta reacción se forma carbonato de calcio (CaCO_3) y se acidifica el hormigón. Este fenómeno avanza hacia el interior del hormigón a una velocidad que es generalmente proporcional a $t^{1/2}$, siendo t el tiempo.

El proceso de carbonatación ocurre con mayor rapidez en hormigones de baja calidad y en ambientes cuya humedad relativa varía entre 50 y 70 %.

Todo proceso de corrosión electroquímica requiere de la presencia de al menos cuatro elementos, a) un ánodo, donde ocurre la oxidación del acero, b) un cátodo, donde ocurre la reacción de reducción, c) un conductor eléctrico por donde circulan los electrones liberados en el ánodo y consumidas en el cátodo y d) un electrolito, donde ocurren dichas reacciones. En la figura 13 se representa esquemáticamente el proceso de corrosión de armaduras en el hormigón.

Los productos de corrosión del acero ocupan un volumen que es varias veces superior al del metal de origen. La acumulación de estos productos en la interface entre el acero y el hormigón genera tensiones de tracción en este último que provocan la fisuración y el posterior desprendimiento del recubrimiento.

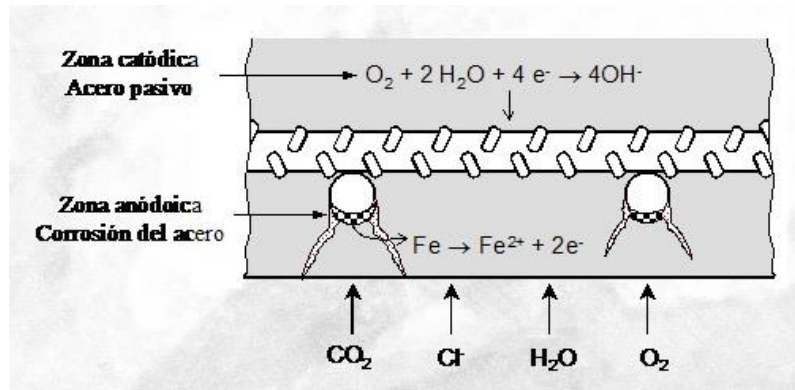


Figura 13. Representación esquemática del proceso electroquímico de corrosión de las armaduras en el hormigón. Husni, R. Acciones sobre las estructuras de hormigón [Figura]. Recuperado de http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/internacional/contenido/re_ebook_ai/DEMO_R/HTML/Capitulo1/Capitulo.htm

En la Tabla 1 del informe del Ing. Gabriel García se indica la determinación de la profundidad de carbonatación que se realizó en varias columnas de la edificación; en las observaciones se indica que la carbonatación alcanza el 100% del recubrimiento, es decir que llega al acero de refuerzo.

Además indica que se observó una capa de recubrimiento variable de 5 cm a 7 cm del hormigón.

La detección de la presencia de carbonato de calcio en hormigones se realizó en este caso mediante el empleo de fenolftaleína.

La pasivación corresponde al proceso de formación de una película de óxido protector transparente compacta y continua en la superficie del acero, que lo vuelve inmune a los agentes agresivos, es decir, lo mantiene protegido por períodos indefinidos, aún en presencia de humedades elevadas en el hormigón.

La elevada alcalinidad del hormigón desarrolla sobre el acero una capa pasivante.

La alcalinidad el hormigón se debe principalmente al hidróxido cálcico que se forma durante la hidratación de los silicatos del cemento y a los álcalis que pueden estar incorporados como sulfatos en el clinker. Estas sustancias sitúan el pH de la fase acuosa contenida en los poros en valores entre 12 y 14, es decir, en el extremo más alcalino de la escala de pH. A estos valores de pH y en presencia de una cierta cantidad de oxígeno, el acero de las armaduras se encuentra pasivado. *Un indicador apropiado es la fenolftaleína, que se torna incolora en la zona carbonatada y toma un color rojo-púrpura en la que permanece alcalina* (fotografía). (2)



Foto 50. Variación de la fenolftaleína con el pH del hormigón. [Fotografía de Hugo Barrera].

Solo se requiere una pequeña concentración de CO₂, que normalmente se encuentra en la atmósfera (0.03%), para que ocurra la carbonatación en el concreto.

2.4.2. ENSAYO DE ADHERENCIA.

Este ensayo no destructivo se realizó con el medidor de resistencia al arranque, el cual determina la resistencia a la adherencia en diferentes superficies. Cuantifica la fuerza necesaria para arrancar una plaqueta metálica circular encolada sobre el acabado.

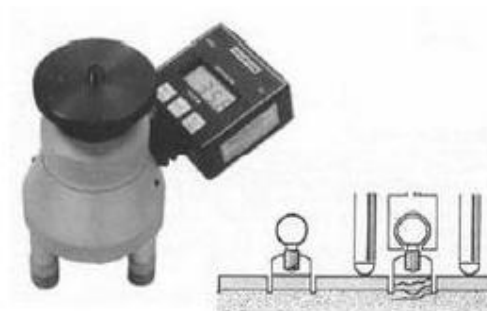


Foto 51. Manómetro. [Fotografía de Construmática.com]

Este ensayo es indispensable para el diagnóstico de daños en estructuras de edificios, además para comprobar trabajos de renovación finalizados. En el caso específico de la edificación objeto de estudio, con la finalidad de obtener datos para un posterior reforzamiento con FRP (Fibras Reforzadas con Polímeros) se realizó el ensayo de adherencia.

De acuerdo al reglamento ACI 440, que es la Guía para el Diseño y Construcción de Concreto Reforzado con FRP que es un reforzamiento estructural adherido, es necesario realizar pruebas de adherencia que deben estar sobre los 1.4 MPa (14.29 Kg/cm²) para tener una adecuada adherencia para realizar el reforzamiento caso contrario es necesario realizar un anclaje adicional.



Se realizó el ensayo de adherencia en 10 elementos estructurales, de lo que se concluyó que el hormigón de recubrimiento ya no sirve, por lo tanto debe ser reemplazado.

2.4.3. MEDIDAS DE POTENCIAL DE MEDIA CELDA.

El desarrollo de este tema es en base a las referencias debidamente citadas.

2.4.3.1. Potencial Eléctrico En Soluciones Iónicas.

A una solución electrolítica en contacto con un electrodo metálico se le denomina media-celda electroquímica. Todo electrodo que cede, recibe o intercambia iones con el medio y cuyo potencial depende de éste, es un electrodo de medida, porque informa al circuito exterior de las características de la solución. Si se conecta el circuito exterior de dos medias-celdas diferentes y al mismo tiempo sus soluciones mediante un puente salino, se obtiene una celda electroquímica que es una fuente espontánea de producción de fuerza electromotriz o voltaje, esta fuerza electromotriz resulta de la realización espontánea de una reacción de reducción en una de las media celdas y de una de las medias-celdas y de una reacción de oxidación de la otra. (15)

Cuando se trata de iones metálicos, el metal más activo se oxida y el menos activo se reduce y la reacción se produce hasta que los potenciales de ambas medias-celdas sean iguales, es decir, que se haya establecido el equilibrio de la reacción. (15)

La medida de potencial de las medias-celdas, ya sean iones metálicos o no metálicos se efectúa utilizando como referencia la media-celda de hidrógeno o electrodo normal de hidrógeno que por convención tiene un potencial estándar igual a 0,000 voltios. Los iones más activos que el hidrógeno tendrán potenciales de media-celda mayores y aquellos iones menos activos tendrán potenciales menores, de tal manera que la reacción de reducción ocurrirá en el electrodo de polaridad positiva, la reacción de oxidación en el electrodo de polaridad negativa y el flujo de corriente será del electrodo negativo al positivo del circuito exterior. En las soluciones se produce una migración de iones en sentido opuesto a la polaridad de los electrodos. El cálculo del potencial de una celda (E) se efectúa restando el potencial de la celda menos positiva (E_{red}) del potencial de la celda más positiva (E_{ox}): (15)

$$E = E_{ox} - E_{red}$$

Para calcular el potencial (E) de una media-celda se aplica la ecuación de Nerst:

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \cdot \ln\left[\frac{\text{oxidado}}{\text{reducido}}\right]$$

En esta ecuación (E°) es el potencial estándar de reducción, (n) es el cambio del número de oxidación producido en la reacción, (R) es la constante de los gases y (T) es la temperatura y (F) es la Constante de Faraday.⁽¹⁵⁾



2.4.3.2. *Medias celdas de referencia.*

El desarrollo de este tema es en base a las referencias debidamente citadas.

La fuerza electromotriz (FEM) de una media celda como constituye el sistema Estructura-Suelo o independientemente el sistema cama de Anodos-Suelo, es posible medirla mediante la utilización de una media celda de referencia en contacto con el mismo electrolito.⁽¹⁶⁾

Las medias celdas más conocidas en el campo de la protección catódica son:

- *HIDROGENO O CALOMELO(H+/H₂)*
- *ZINC PURO (Zn/Zn⁺⁺)*
- *PLATA-CLORURO DE PLATA(Ag/AgCl)*
- *COBRE-SULFATO DE COBRE(Cu/SO₄Cu)*

La media celda de Hidrógeno tiene aplicación práctica a nivel de laboratorio por lo exacto y delicado. También existen instrumentos para aplicación de campo, constituida por solución de mercurio, cloruro mercurioso, en contacto con una solución saturada de cloruro de potasio que mantiene contacto con el suelo.⁽¹⁶⁾

La protección del acero bajo protección catódica se estima haber alcanzado el nivel adecuado cuando las lecturas del potencial-estructura-suelo medidos con las diferentes celdas consiguen los siguientes valores:⁽¹⁶⁾

<i>ELECTRODO</i>	<i>LECTURA</i>
<i>Ag-AgCl</i>	<i>-0.800V</i>
<i>Cu-SO₄Cu</i>	<i>-0.850V</i>
<i>Calomel</i>	<i>-0.77V</i>
<i>Zn puro</i>	<i>+0.25V</i>

Varios criterios pueden ser adoptados para comprobar que la estructura en mención está exenta de riesgo de corrosión, basados en unos casos en función



de la densidad de corriente de protección aplicada y otros en función de los potenciales de protección obtenidos.⁽¹⁶⁾

No obstante, el criterio más apto y universalmente aceptado es el de potencial mínimo que debe existir entre la estructura y terreno, medición que se realiza con un electrodo de referencia. El criterio de potencial mínimo se basa en los estudios realizados por el Profesor Michael Pourbaix, en 1939, quién estableció a través de un diagrama de potencial de electrodo Vs pH del medio, un potencial mínimo equivalente a -850 mv con relación al electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre, observando una zona definida por la inmunidad del acero.⁽¹⁶⁾

Los criterios de potencial mínimo de protección que se utilizará es de -850 mv respecto al Cu/SO₄Cu como mínimo y permitiendo recomendar así mismo, un máximo potencial de protección que pueda estar entre los 1200 mv a -1300 mv, sin permitir valores más negativos, puesto que se corre el riesgo de sobre protección, que afecta de sobre manera al recubrimiento de la pintura, ya que hay riesgos de reacción catódica de reducción de hidrógeno gaseoso que se manifiesta como un ampollamiento en la pintura.⁽¹⁶⁾

La resistividad es la recíproca de la conductividad o capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica. En la práctica se ejecutan medidas de resistencia de grandes masas de material y se calcula un valor promedio para el mismo.⁽¹⁶⁾

Las áreas de menor resistividad son las que tienden a crear zonas anódicas en la estructura, pero así mismo son las zonas más aptas para instalación de las camas de ánodos.⁽¹⁶⁾

En la práctica se realiza esta medida empleando un voltímetro y un amperímetro o bien instrumentos especiales como el Vibro-Graund complementados mediante un equipo de cuatro picas o electrodo directamente en el campo y mediante el Soil Box en laboratorio.

Cuando se ejecuta en el campo, el método consiste en introducir en el suelo 4 electrodos separados por espaciamientos iguales, los espaciamientos representan la profundidad hasta lo que se desea conocer la resistividad.⁽¹⁶⁾ Se calcula la resistividad aplicando la siguiente fórmula:

$$rs = 2 * 3.1416 * d * Resistencia.$$



<i>Resistividad ohm-cm</i>	<i>Características</i>
<i>bajo 900</i>	<i>Muy corrosivo</i>
<i>900 a 2300</i>	<i>Corrosivo</i>
<i>2300 a 5000</i>	<i>Moderadamente corrosivo</i>
<i>5000 a 10000</i>	<i>Medio corrosivo</i>
<i>Sobre 10000</i>	<i>Menos corrosivo</i>

El electrodo de referencia utilizado por el Ing. García para esta prueba suele ser el Sulfato de Cobre o el Calomel. De acuerdo al ASTM C 876, esta prueba requiere de un contacto eléctrico con el acero de refuerzo y no se debe utilizar cuando se a aplicado sobre él membranas y superficies aislantes.

Los resultados del mapeo realizado se compararon con los valores de referencia de la norma ASTM C 876 – 91; los resultados indicaron que el avance de la corrosión en la estructura es de tipo generalizada para toda la armadura de refuerzo principal.

2.4.4. LEVANTAMIENTO DE FISURAS.

El código ACI que trata acerca del Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón informado por el comité ACI 224 (ACI 224R-01) tiene una guía para anchos de fisura razonables en hormigón armado bajo cargas de servicio.

El mismo sirvió como parámetro para realizar un ensayo tipo visual de levantamiento de fisuras. El cuadro se muestra a continuación:



Condición de Exposición	Ancho de fisura	
	in.	mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,012	0,30
Productos químicos descongelantes	0,007	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0,006	0,15
Estructuras para retención de agua†	0,004	0,10

Además, para evaluar las fisuras observadas fue necesario reconocer su tipo de severidad y deterioro; esto se consideró un cuadro en el cual se puede identificar la severidad de las fisuras según la descripción que se basa en el control visual realizado.

2.4.5. ESCLEROMETRÍA.

La esclerometría es un ensayo no destructivo mediante el cual se determina la dureza superficial del hormigón. *El esclerómetro Schmidt es el utilizado en estructuras de hormigón.* ⁽¹⁸⁾ Mediante una masa conocida (*martillo de acero*) que es *impulsada por un resorte* que genera determinada energía la cual *golpea un émbolo de acero en contacto con la superficie del hormigón* y luego rebota. *Debe funcionar con una velocidad fija y reproducible.* ⁽¹⁷⁾

La cantidad de energía recuperada en el rebote, la cual se mide por la distancia del mismo en una escala lineal adosada a la envoltura del instrumento es un *índice de la dureza superficial* y se cuantifica con el *Índice Esclerométrico*, *parámetro que varía entre 20 y 50.* ⁽¹⁸⁾

El martillo debe calibrarse antes de su empleo, accionándolo hacia abajo sobre un yunque especial colocado sobre una base firme. ⁽¹⁷⁾

Se debe utilizar el mismo martillo durante todo el ensayo. *La posición normal es la horizontal* y en caso de utilizarse en otras posiciones, las lecturas deben ser *corregidas de acuerdo a las indicaciones del fabricante.* ⁽¹⁷⁾

Para determinar el índice esclerométrico en un elemento es necesario realizar más de 8 disparos con el martillo para registrar igual número de lecturas y determinar un valor promedio. ⁽¹⁷⁾

Este método de dureza se puede aplicar para realizar:

- *Estudio de homogeneidad;*

- *Comparación de la calidad de un hormigón con otro de referencia, cuya calidad se conoce por otros medios, por ejemplo, rotura de probetas; y*
- *Estimación de la resistencia del hormigón "in situ".⁽¹⁸⁾*

Al realizar la esclerometría se trata de relacionar la dureza superficial del hormigón con su resistencia a compresión ⁽¹⁹⁾, es decir, la pretensión es encontrar una propiedad interna que es la resistencia.

La calidad de los resultados de este tipo de ensayos es relativa por diversos factores que afectan la dureza superficial y no a la resistencia pero debido a su sencillez y economía es muy utilizada. Las alteraciones más evidentes se producen cuando el hormigón se carbonata (endurecimiento superficial) o el elemento en estudio está sometida a cargas importantes (por ejemplo, columnas de los primeros pisos del edificio), se obtienen valores superiores a los reales, no obstante en combinación con Ultrasonidos, tiene una potencialidad importante. ⁽¹⁹⁾

Se realizó la esclerometría en 41 elementos de la edificación. Los valores promedio del índice esclerométrico encontrados en los diferentes elementos analizados varían entre 23 y 42. En 19 elementos el índice es menor a 28, en los cuales se tiene una resistencia a compresión asociada menor a 210 kg/cm² que es el valor mínimo que debe tener el hormigón para ser considerado como estructural.

Para el análisis de la edificación se consideró que los elementos presentan carbonatación, por lo que los valores de la resistencia a compresión resultantes de la esclerometría son superiores a los reales incluso en un 20%.



Foto 52. Esclerometría realizada a un elemento de hormigón. [Fotografía de civilgeeks.com]



2.4.6. RESISTENCIAS DE NÚCLEOS.

Los núcleos extraídos o testigos de la estructura son uno de los medios para evaluar si la capacidad estructural de un miembro de concreto es adecuada el ACI 301 en el numeral 1.6.7.3 aporta una guía para esta evaluación. Los núcleos extraídos dan resultados de ensayo más bajos que los cilindros de ensayo normalizados adecuadamente fabricados y ensayados de 15 x 30 cm. El código ACI de la edificación reconoce que bajo las prácticas corrientes de diseño, la construcción de concreto puede ser considerada estructuralmente adecuada si el promedio de tres testigos del área de estudio cuestionada es igual o excede el 85 % de la resistencia especificada, f'_c y que ningún testigo individual sea inferior al 75 % de f'_c .

Se extrajeron núcleos de 10 elementos estructurales de los cuales se determinó la masa, el diámetro, la altura sin capping y el peso específico. Luego se les aplica la carga axial para determinar la resistencia.

El consultor al extraer núcleos de los elementos indica que verificó que algunos elementos son mampuestos de ladrillo. Algunos de estos elementos de mampostería están soportando una loseta sobre vigas prefabricadas de hormigón.

Las resistencias establecidas por los núcleos fueron menores a 210 kg/cm².

CAPÍTULO III. ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL DEL SALÓN PRINCIPAL DE LA EDIFICACIÓN EN ESTUDIO

3.1. ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL SALÓN PRINCIPAL.

El salón principal se estructura por columnas, vigas y losa nervada en dos direcciones, todo ello de hormigón armado y una cercha de acero. El salón es rectangular, las dimensiones son 13.75 m por 14.90 m. En el capítulo I, numeral 1.1 se realiza la descripción de la edificación objeto de estudio. En la figura 14 se muestra un esquema general del salón principal.

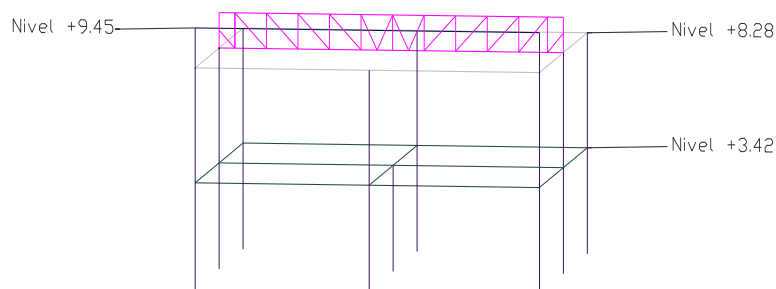


Figura 14. Representación esquemática del salón principal.

3.1.1. COLUMNAS.

La planta baja del salón principal tiene nueve columnas de hormigón armado; mismas que se encuentran distribuidas en 3 ejes, los cuales, para objeto de esta monografía se los define como frontal, medio y posterior; en cada eje se encuentran tres columnas.

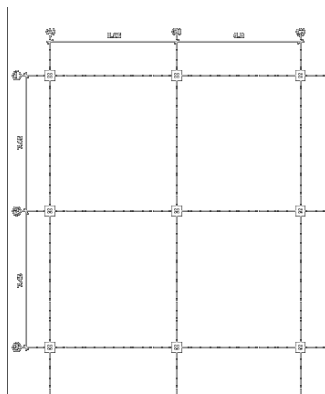
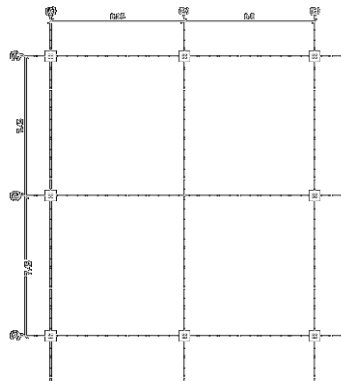


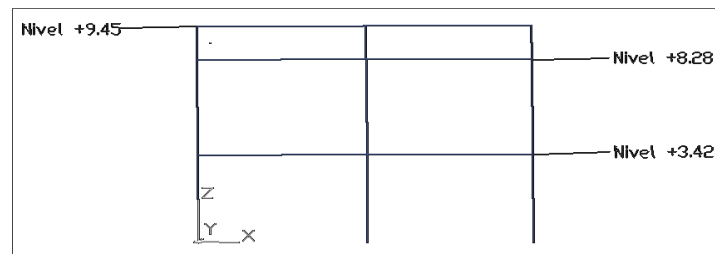
Figura 15. Distribución de columnas planta baja.

La planta alta del salón principal tiene ocho columnas de hormigón armado que se encuentran distribuidas en tres ejes; tanto en el eje frontal como en el eje posterior son tres columnas, en el eje medio son dos columnas.



Figuras 16. Distribución de columnas en planta alta.

Las secciones de las columnas en planta baja y alta tienen diferencia de centímetros por mala ejecución, siendo promedios 0.41 x 0.41 m.



Figuras 16 y 17. Distribución de columnas en planta alta y vista frontal del eje 1.



Figuras 18 y 19. Vistas frontales de los ejes 2 y 3.

3.1.2. VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO.

El salón principal, desde el nivel de la losa de piso, tiene tres niveles de vigas; sus ejes horizontales están a los niveles +3.42 m, +8.28 y + 9.45, tal como se muestra en la figura 14.

En el nivel +3.42 las vigas de borde son de 0.30 m de altura por 0.30 m de ancho mientras que las vigas centrales son de 0.25 m de altura y 0.25 m de ancho.

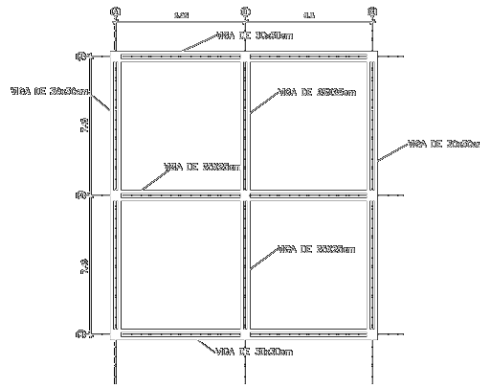


Figura 20. Planta al nivel +3.42.

En el nivel +8.28 solo hay cuatro vigas de borde que son de hormigón armado, sus secciones tienen diferencia de centímetros por mala ejecución, siendo promedios 0.47 m de altura y 0.41 m de ancho; se puede observar que aproximadamente 0.12 m del ancho de las vigas de borde no están apoyadas en las columnas.

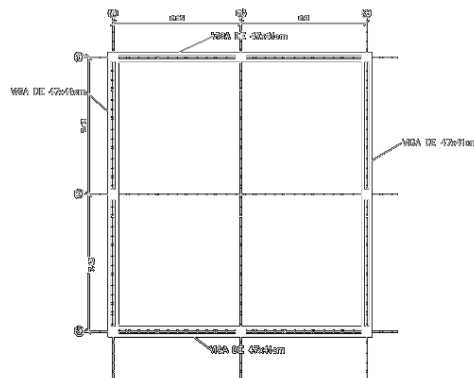


Figura 21. Planta al nivel +8.28.

En el nivel +9.45 hay una viga de hormigón armado en la parte frontal, su dimensión es 0.15 m de alto por 0.30 m de ancho que sirve de apoyo directo del asbesto cemento que es el único material de cubierta del salón principal.

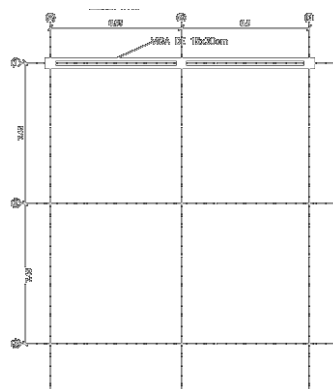


Figura 22. Planta al nivel +9.45.

3.1.3. LOSA DE ENTREPISO.

La losa de entrepiso del salón principal está en el nivel +3.42 desde la losa de piso, la planta se puede apreciar en la figura 14; está formada por cuatro losas alivianadas, las cuales tienen vigas a su alrededor; son losas en dos direcciones de 0.25 m de espesor.

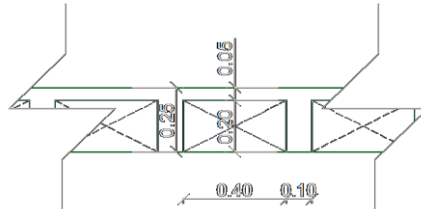


Figura 23. Esquema de la sección transversal de la losa de entrepiso.

3.1.4. CERCHA DE ACERO.

El salón principal tiene una cercha de acero para soporte de la cubierta; está en el eje 2 que se puede observar en la figura 16, es decir a 7.45 m desde la entrada; es paralela a la parte frontal del salón principal, por lo que tiene una luz de 13.75 m; la unión con las columnas es mediante la introducción de los cordones superior, inferior y de una de las diagonales en las columnas que la sustentan.

Los cordones inferior y superior son perfiles conocidos en el medio como tipo caja o tipo O de 0.10 x 0.10 m; las verticales están ubicados cada 1.25 m y son perfiles conocidos en el medio como tipo canal o tipo C de 0.1 x 0.05 m; las diagonales son perfiles conocidos en el medio como tipo canal o tipo C de 0.05 x 0.05 m. El peralte de la cercha es 1.20 m.

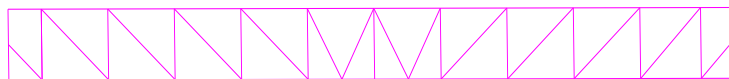


Figura 17. Esquema de configuración de la cercha de acero.

3.2. INVESTIGACIÓN DEL ESTADO TÉCNICO-CONSTRUCTIVO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

La evaluación general del estado técnico-constructivo de los elementos estructurales del salón principal es basada en la observación y el informe "Diagnosis de las patologías del edificio de la Universidad del Azuay" elaborado por el ingeniero Gabriel García, mismo que es el anexo 1 de esta monografía.

3.2.1. PROCESO DE OBSERVACIÓN.

Mediante observación directa se recogió información acerca las manifestaciones de patologías y defectos constructivos de los elementos estructurales del salón

principal para posteriormente determinar un diagnóstico conforme a lo redactado en el capítulo II, numeral 2.2.

3.2.1.1. Estado de las columnas.

Se puede observar que hay cambio de color del hormigón en varias zonas, estos cambios se encuentran localizados como pequeñas manchas en diferentes sectores y también se nota la diferencia de color en varios tramos de la longitud.
(20)

Se observan los agujeros en varias columnas por la extracción de núcleos para ensayos a compresión con la finalidad de conocer la resistencia del hormigón de los elementos estructurales, también se observan oquedades por mal hormigonado.



Fotos 53 y 54. Cambio del color del hormigón y agujero por extracción de núcleo.

En varias zonas de las columnas se observa el acero que constituye su armado principal y estribos; la armadura presenta signos de corrosión y deficiencia de anclaje al no cumplir el ángulo requerido al cierre de los estribos.



Fotos 55. Anclaje de estribo de la columna deficiente.

Tanto en planta baja como en planta alta, las columnas presentan deficiente alineación debido a la variación de las secciones de las columnas en un orden

aproximado de 5 cm; también se observó insuficiente aplome en un orden aproximado de 10 cm.



Fotos 55 y 56. Columna con acero de refuerzo visible y columna con deficiencia de aplome.

Reducción de sección de las columnas del salón principal en diferentes zonas, tanto en planta alta como en la planta baja debido a un deficiente control en el momento de la construcción. Se observa presencia de vegetación entre una de las columnas de la planta baja del eje 3 o posterior y la pared hasta una altura aproximada de 0.70 m.



Foto 57 y 58. Reducción de sección y presencia de vegetación.

3.2.1.2. Estado de las vigas de hormigón armado.

En las paredes de la planta alta, en las proximidades de las vigas de borde de entepiso y en algunas de las propias vigas de hormigón armado, se observan fisuras horizontales, las cuales se presentan con un ancho de abertura y una longitud considerable. ⁽²⁰⁾

Se puede observar que hay cambio de color del hormigón en varias zonas, estos cambios se encuentran localizados como pequeñas manchas en diferentes sectores y también se observa variación de color por zonas en la longitud de las vigas. ⁽²⁰⁾



Fotos 59 y 60. Fisuras horizontales y cambio de color en varias zonas de las vigas de hormigón armado.

Otro síntoma que presentan las vigas del salón principal es la disgregación de hormigón u oquedades por mala compactación en su colocación en varios lugares de las mismas, motivo por el cual se puede observar la armadura longitudinal y los estribos. ⁽²⁰⁾



Foto 61. Disgregación de hormigón (Oquedades).

3.2.1.3. Estado de la losa de entrepiso.

La losa de entrepiso mantiene el mortero adicional que fue colocado para nivelar el piso de la planta alta puesto que presentaba deflexión y la cerámica; estos materiales aumentan el espesor del entrepiso en 12 cm.

Se observó un orificio, el cual tiene las dimensiones de una extracción de núcleos para ensayo; mediante esta perforación no se observa la malla de acero para contracción y temperatura que es común colocar en el medio.



Fotos 62 y 63. Mortero adicional y cerámica en la losa de entrepiso,
perforación en la losa de entrepiso.

Por la parte inferior, se puede observar la armadura inferior de la losa la cual no cuenta con recubrimiento suficiente y se presenta corrosión en las varillas.



Foto 64. Armadura inferior de la losa de entrepiso.

3.2.1.4. Estado de la cercha de acero.

En algunas zonas de la cercha se puede observar la presencia de corrosión; las columnas en las que se apoya tienen claros problemas constructivos; a pesar de ello, no presenta ningún otro síntoma que se pueda determinar mediante observación.



Foto 65. Presencia de corrosión en la cercha y deficiente condición del apoyo.

3.2.2. ASPECTOS PRINCIPALES DEL INFORME DIAGNOSIS DE LAS PATOLOGÍAS DEL EDIFICIO DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY DEL INGENIERO GABRIEL GARCÍA, ANEXO 1.

El Informe técnico " Diagnóstico de las patologías del edificio de la Universidad del Azuay (sector Borja) " realizado por el Ing. Gabriel García con el soporte técnico de la empresa SIKA, presenta ensayos elaborados directamente sobre el hormigón y las varillas de acero que conforman el hormigón armado de los elementos estructurales.



El informe no indica ninguna información acerca de ensayos realizados en los perfiles de acero que conforman la cercha que forma parte de los elementos estructurales.

En el presente numeral se detallan los resultados obtenidos de los ensayos realizados que están involucrados directamente con el salón principal, parte de la edificación que es objeto de estudio presentado en esta monografía.

3.2.2.1. Hormigón de los elementos estructurales.

De acuerdo con el ensayo de carbonatación, el recubrimiento, que es considerado de .05 m está totalmente afectado; inclusive en aquellos elementos que se encontró mayor recubrimiento, el mismo se encuentra también afectado.

Los resultados del ensayo de adherencia indican que para realizar reforzamiento con materiales adheridos a los elementos estructurales originales se requiere reemplazar los recubrimientos y realizar un anclaje adicional puesto que de acuerdo al reglamento ACI 440, que es la Guía para el Diseño y Construcción de Concreto Reforzado con FRP que es un reforzamiento estructural adherido, es necesario realizar pruebas de adherencia y los resultados de la resistencia a la adherencia deben estar sobre los 1.4 MPa (14.29 Kg/cm²) para tener una adecuada adherencia y no requerir un anclaje adicional.

En el levantamiento de daños y fisuras presentado como parte del informe, en la construcción existen juntas frías de hormigonado en columnas, segregación u oquedades en el hormigón de vigas y columnas, remiendos de tipo no estructural, presencia de vegetación, manejo no adecuado de juntas constructivas, deficiencia en la construcción de uniones; todo lo anteriormente citado indica varios defectos de ejecución de la construcción.

Conforme a la correlación entre los ensayos de esclerometría y extracción de núcleos realizada para estimar la resistencia del hormigón en los elementos estructurales de hormigón armado; la máxima resistencia 182.34 kg/cm².

3.2.2.2. Varillas de acero.

El ensayo de medidas de potencial de media celda y el ensayo de carbonatación indican que la corrosión activa es generalizada para toda la armadura del refuerzo principal en los elementos estructurales del salón principal.

En el levantamiento de daños y fisuras realizado en toda la construcción refleja que el armado del acero de los elementos estructurales no respeta el espaciamiento mínimo que exigía la normativa NEC y ACI 318 vigente para estructuras de hormigón armado en el año en que el informe de diagnosis fue elaborado.



3.3. CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN DEL ESTADO TÉCNICO-CONSTRUCTIVO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

De acuerdo a las manifestaciones de patologías redactadas en el capítulo II, numeral 2.2., se pueden diagnosticar las patologías que sufren los elementos estructurales del salón principal.

3.3.1. ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN ARMADO.

La tipología de la problemática de los elementos estructurales de hormigón armado se repite en varias ocasiones, por lo que se realiza la siguiente tabla de patologías:

Patologías		Elementos estructurales		
		Vigas	Losa	Columnas
Adherencia y anclaje		x	x	x
Corrosión de armaduras		x	x	x
Fallas constructivas	Oquedades superficiales	x	x	x
	Deficiencia en el posicionado de armadura	x	x	
	Corrimiento de aceros	x	x	
	Deficiencia de la resistencia del hormigón	x	x	x

Los resultados de la correlación entre los ensayos de esclerometría y de núcleos extraídos indican que en ninguno de los elementos estructurales la resistencia a compresión del hormigón es de 210 kg/cm², misma que es la mínima aceptada por la normativa NEC y ACI 318 vigente como hormigón estructural. La máxima resistencia a compresión del hormigón de los elementos estructurales del salón principal es 182.34 kg/cm², los cuadros de los resultados del ensayo de esclerometría y de la correlación entre el ensayo mencionado con la extracción de núcleos son parte del anexo 1.

Al presentar una grave patología de adherencia y anclaje, el reforzamiento con materiales adheridos a los elementos estructurales originales sería de largo tiempo de ejecución y con gran cantidad de material por lo que resultaría en una solución compleja y de alto costo. La propuesta de reforzamiento implicaría realizar las acciones emergentes propuestas en el informe del ingeniero Gabriel García, mismo que elaboró con el soporte técnico de la empresa SIKA, el cual es el anexo 1, que basa el reforzamiento en mejorar el anclaje en base a un anclaje químico y mejoramiento del estado del acero al tratar la corrosión; posteriormente utilizar fibra de carbono para mejorar la resistencia.

El acero presenta un alto grado de corrosión a lo largo de todos los elementos estructurales, en un proceso progresivo en el tiempo, mismo que genera reducción de sección de las varillas. Para preservar el reforzamiento que pueda quedar de la sección original el acero se requiere un tratamiento de carácter electrolítico.



3.3.2. CERCHA

La cercha presenta problemas de ejecución de nudos que conduciría a un fallo funcional de los anclajes, además, corrosión, que aunque aún no muy avanzada por ahora solo presenta un fallo estético, pero al no contar con mantenimiento generará des-laminación de perfiles y picaduras en conexiones. ⁽²¹⁾

Para presentar como parte de la propuesta de intervención de reforzamiento el mantener la cercha se deberá incluir como elemento estructural en la modelación para obtener el análisis y determinar si puede ser parte de la rehabilitación.

3.4. *ESPECIFICACIONES DE LA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DEL SALÓN PRINCIPAL.*

La presente monografía no es un proyecto ejecutivo de reparación, es un estudio con base académica para mediante la evaluación de las patologías determinar una propuesta del reforzamiento para el salón principal.

Previo a la iniciación de cualquier intervención de reforzamiento se debe tomar las medidas de seguridad adecuadas tanto para evitar accidentes como para evitar un mayor deterioro de la edificación, por lo cual se deben plantear las acciones necesarias.

Como punto importante de la seguridad estructural, antes de comenzar la intervención se debe colocar reforzamiento temporal con puntales en los elementos estructurales para evitar riesgos y accidentes.

Se considera intervención estructural a la modificación de la construcción existente, destinada a rigidizar, estabilizar y hacer resistente a la estructura. Esta intervención deberá cumplir con las condiciones mínimas que aseguren un buen comportamiento estático y dinámico ante los sismos. ⁽²³⁾

La rehabilitación estructural es la restitución de la capacidad resistente y rigidez de la estructura dañada, mediante un conjunto de operaciones destinadas a restituir la condición de la estructura. ⁽²³⁾ Para este proyecto, se plantean los siguientes procesos para establecer su rehabilitación:

- Sostenimiento de las vigas y la losa del entrepiso mediante la colocación de montacargas por tramos.
- Encamisado de las columnas con hormigón de resistencia a la compresión mínima de 240 kg/cm² reforzado con acero longitudinal y transversal, para lo cual se debe retirar el recubrimiento de las columnas existentes y realizar la limpieza de la corrosión para posteriormente colocar a las varillas de acero y al hormigón un tratamiento contra la corrosión utilizando pasivadores.
- Inyección con bombas manuales de mortero a través de oquedades y perforaciones para eliminar vacíos en la sección de cada columna de hormigón armado existente.



- Adición de refuerzos a cortante en las zonas de los nudos columna – viga y columna – apoyos.
- Colocación de vigas metálicas en las dos direcciones de la losa de entrepiso para reducir las luces de la losa con la finalidad de que esta trabaje adecuadamente.
- Adición de anillos de acero en las columnas antes de realizar la fundición del encamisado a las cuales se sueldan ménsulas para soporte y conexión con las vigas de acero.
- Cuando la construcción de los elementos de reforzamiento esté finalizado se puede proceder con el retiro de puntales.
- Retiro de la cercha de acero que soporta el asbesto cemento que constituye el techo, retiro de bloques, columnas y viga de hormigón armado que están sobre el nivel +8.28.
- Colocación de vigas de acero al borde y al centro de la luz más larga que es 14.90 m al nivel +8.24 y de las correas de soporte de la cubierta con la separación adecuada para el material que la constituye y pendiente suficiente para el manejo del agua lluvia.



CAPÍTULO IV. SOLUCIONES, ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA REHABILITACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO BÁSICO

4.1. PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL MODELO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

Desde la perspectiva del diseño estructural, es necesario seguir un conjunto de lineamientos y parámetros para su desarrollo, de manera que cumpla con los requisitos normalizados principalmente en cuanto a la seguridad. ⁽⁴⁾

4.1.1. NORMATIVA VIGENTE EN EL PAÍS.

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda mediante Acuerdo Ministerial número 0047 del 10 de enero de 2015, dispuso la aplicación de todos los códigos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC 2015. ⁽²²⁾

4.1.2. REGLAMENTO UTILIZADO.

Para el modelo y análisis estructural de los elementos estructurales del salón principal del Centro de Rehabilitación de la Universidad del Azuay se considerarán los códigos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 en los cuales existen menciones en los que se aborden consideraciones adecuadas para el reforzamiento del salón principal y el reglamento de las construcciones de hormigón reforzado (American Concrete Institute) ACI 318.

4.2. HIPÓTESIS PARA LA MODELACIÓN

Para la modelación y análisis del reforzamiento del salón principal se establecen las siguientes hipótesis:

Se mantiene el recubrimiento cerámico y el mortero colocado sobre la losa de entepiso que tiene un espesor total de 12 cm.

Se considera el aporte de rigidez de las columnas de la estructura original de hormigón en el reforzamiento.

El salón principal está unido a paredes del siguiente bloque, a las gradas que son acceso al subterráneo y al puente de acceso a la planta baja; para la modelación se aislará el salón principal considerando que una vez elaborado el reforzamiento se debe separar el salón principal generando una junta sísmica, resultando autoportante.

Debido a los resultados de la correlación entre los ensayos de esclerometría y extracción de núcleos, al no alcanzar ninguno de los elementos la resistencia a compresión de 210 kg/cm², misma que es la mínima aceptada por los reglamentos utilizados que se indican en el numeral 4.1.2. como hormigón



estructural; además que el acero presenta un alto grado de corrosión, mismo que genera reducción de sección de las varillas; para la modelación se desprejará el aporte total de la sección original de las columnas, reduciéndola en un 50%, se impone la reducción del diámetro del acero; se desprejará el aporte total de las vigas de hormigón armado.

Para el modelo se considerará que la estructura está articulada en su base, puesto que no se conoce el estado de la cimentación.

4.3. *MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA PARA EL DISEÑO DE REFORZAMIENTO.*

Para encontrar los esfuerzos internos, deformaciones y tensiones idealizados de los elementos estructurales de reforzamiento del salón principal, se procede a realizar el análisis estructural mediante la modelación de los mismos en el programa SAP2000, considerando las características de los materiales de construcción que deben tener como características requerida ser duraderos, cumplir con la dureza y resistencia mecánica y al fuego.

4.3.1. *CONDICIONES DE RESISTENCIA EN ESTADO DE SERVICIO ÚLTIMO.*

La estructura será modelada y analizada para verificar las condiciones de resistencia y servicio especificadas por los reglamentos descritos en la sección 4.1.2., por lo que se utiliza el diseño a resistencia última, motivo por el cual se mayor las cargas.

La simbología utilizada para expresar las cargas son:

- D es la carga permanente
- E es la carga de sismo
- L es la carga viva de entresijos
- L_r es la carga viva de cubiertas

La resistencia requerida debe ser por lo menos equivalente a las cargas mayoradas conforme a las siguientes ecuaciones:

- $1.4D$
- $1.2D + 1.6L + 0.5L_r$
- $1.2D + 1.6L_r + L$
- $1.2D + 1.0E + L$
- $0.9D + 1.0E$

La carga permanente D es el peso de todos los elementos estructurales así como el mortero adicional y la cerámica colocados en el entresijo; conforme al reglamento utilizado citado en el numeral 4.1.2., el peso específico del hormigón



armado es 2400 kg/m³, el peso específico del mortero es 2000 kg/m³ y el de la cerámica es 1800 kg/m³.

El programa SAP 2000 calcula el peso propio de los elementos de reforzamiento y de la losa alivianada existente de acuerdo a las secciones y material ingresados o seleccionados. El peso de las vigas de hormigón armado se adiciona como carga permanente al modelo, colocando carga distribuida sobre las vigas de refuerzo directas a estas, los valores calculados se indican en la siguiente tabla:

VIGAS AL NIVEL +3.42						
	AREA m ²	L m	VOLUMEN m ³	PESO ESPECÍFICO kg/m ³	CARGA kg/m	
VIGAS DE BORDE	0.09	1.00	0.09	2400	216	
VIGAS INTERNAS	0.06	1.00	0.06	2400	150	
VIGAS AL NIVEL +8.28						
	AREA	L	VOLUMEN m ³	PESO ESPECÍFICO kg/m ³	CARGA kg/m	
VIGAS DE BORDE	0.17	1.00	0.17	2400	403	

La carga viva de entrepisos L es el peso proyectado que podrá soportar la estructura del salón principal de acuerdo al tipo de uso, la carga viva de cubierta Lr es el peso considerado para instalación, la carga de granizo S es la que se debe colocar en este caso como carga climática puesto que este fenómeno ambiental ocurre en la ubicación del salón principal. Estas cargas son colocadas como distribuidas en la losa en el modelo, los valores son los siguientes de acuerdo al reglamento:

Ocupación o uso	Carga uniforme (kg/m ²)
<i>Áreas de reunión y teatros</i>	
<i>Asientos móviles</i>	489
<i>Cubiertas</i>	
<i>Cubiertas planas, inclinadas y curvas</i>	71

La carga sísmica E representa la carga reactiva por sismo que al colocar en el modelo matemático introducen las características más significativas para aproximar al comportamiento dinámico real.

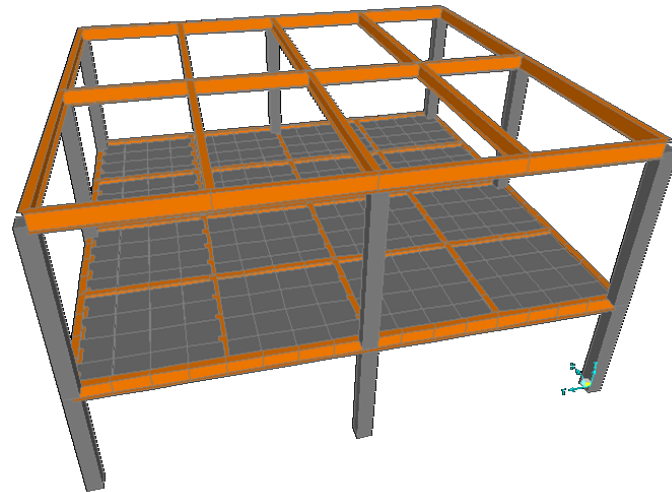


Figura 18. Modelo tridimensional de la estructura compuesta por columnas, vigas y losa.

4.3.3. IDEALIZACIÓN DE LAS CARGAS O ACCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA

Anteriormente se determinó las cargas consideradas para la modelación matemática, las cuales son la carga muerta, la carga viva y la carga por sismo. La carga muerta fue inicialmente estimada de un prediseño mientras que la carga viva y sísmica se determinó mediante lo especificado en la Norma ecuatoriana de la construcción, NEC 2015.

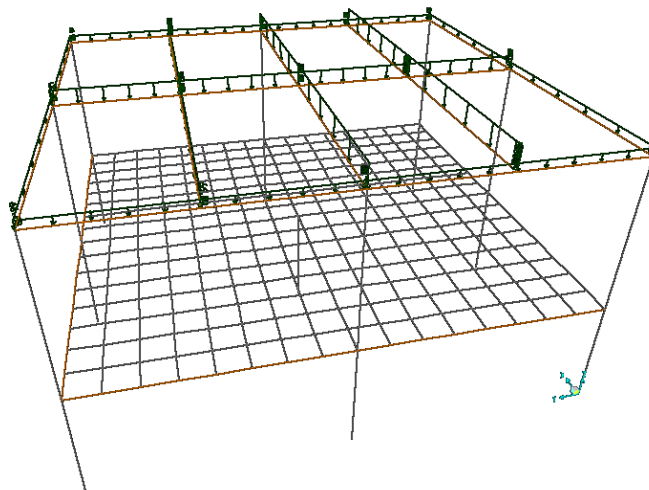


Figura 19. Modelo con carga en las vigas de la cubierta.

4.3.4. DISCRETIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA PARA EL DISEÑO

Una vez expuestos los antecedentes con los cuales va a ser elaborado el diseño del reforzamiento, se procede a realizar el modelo del salón principal con la finalidad de obtener resultados que permitan analizar el comportamiento de la estructura de refuerzo y diseñar los elementos estructurales relativos al mismo.

Cabe señalar que de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-SE-CG 2015, en la cual se establece que la masa de cada nivel debe considerarse como concentrada en el centro de masas del piso, pero desplazada una distancia igual al 5% de la máxima dimensión del edificio de ese piso, al modelo matemático, para validar lo establecido en la norma se calculó el centro de masa más y menos el 5% en cada dirección; generando cuatro modelos en donde solo cambia el punto donde se ubicó la masa concentrada de cada piso.

A continuación presentamos el modelo del salón principal:

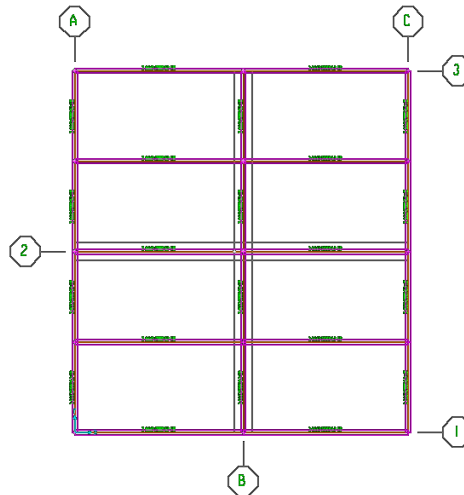


Figura 20. Planta del modelo realizado con sus respectivos ejes.

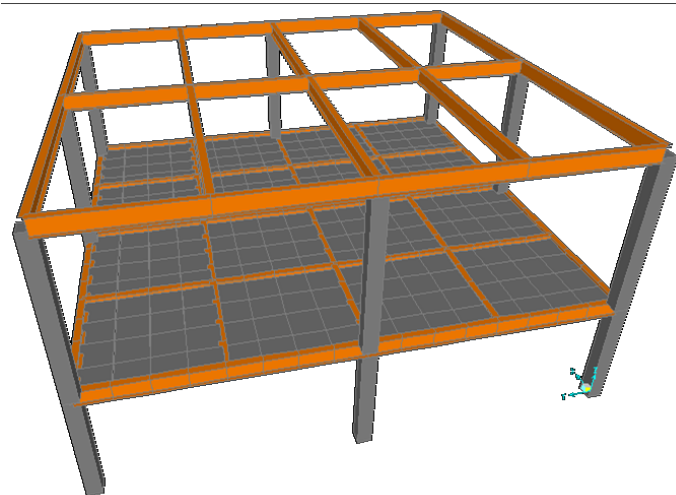


Figura 21. Modelo elaborado del salón principal para su análisis mediante elementos finitos.

El diseño de reforzamiento plantea como refuerzo vigas de acero y encamisado de columnas con hormigón armado.

En base a los resultados que se obtienen del modelo matemático se realiza el análisis de esfuerzos y deformaciones; con el resumen de resultados de los elementos más esforzados se elabora el diseño.



La ubicación de los puntos de máximos esfuerzos en las vigas se generan en el centro de las luces y en los apoyos por lo que se establecieron estas zonas como las adecuadas para el análisis.

Por facilidad constructiva se estandarizan las vigas de entrepiso y de cubierta, garantizando el cumplimiento de los elementos estructurales, los cuales se indican en el anexo 2 que son los planos del proyecto; se analizaron los casos más desfavorables tanto en vigas como en el encamisado de las columnas.

Los principales esfuerzos obtenidos de todos los elementos que conforman la modelación de la estructura del salón principal se muestran en la siguiente tabla.

ESFUERZOS DE DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE REFORZAMIENTO DEL SALÓN PRINCIPAL							
Elemento en el modelo	Combinación	P	V2	V3	T	M2	M3
#		Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
Vigas de cubierta en dirección X							
32	1.2D+1.6Lr+L	0	910	0	1E-15	0	7371
26	1.2D+1.6Lr+L	0	-2398	0	-0.17	0	-2505
32	1.2D+1.6Lr+L	0	3829	0	1E-15	0	-8742
28	1.2D+1.6Lr+L	0	3811	0	2E-12	0	-8744
Vigas de cubierta en dirección Y							
61	1.2D+1.6Lr+L	0	-10	3.1E-16	-0.01	-3.4E-16	4551
59	1.2D+1.6Lr+L	0	3624	3.1E-16	-0.45	-1.2E-15	-5152
60	1.2D+1.6Lr+L	0	-4345	8.3E-16	-0.02	-1.3E-16	-9540
64	1.2D+1.6Lr+L	0	-4345	3.1E-16	0.019	-3.1E-15	-9540
Vigas de entrepiso en dirección X							
98	1.2D+1.6L+0.5Lr	0	6009	0	5E-14	0	24794
94	1.2D+1.6L+0.5Lr	-6.27E-10	-21662	0	1E-10	0	-35021
93	1.2D+1.6L+0.5Lr	0	21726	-9.6E-14	0.07	7.89E-14	-36688
125	1.2D+1.6L+0.5Lr	0	21726	-4E-14	-0.07	3.74E-14	-36688
Vigas de entrepiso en dirección Y							
89	1.2D+1.6L+0.5Lr	0	-5274	-5.5E-14	-0.01	3.51E-14	24555
86	1.2D+1.6L+0.5Lr	0	-20659	-4E-14	-0.12	-2.9E-14	-24002
93	1.2D+1.6L+0.5Lr	0	21726	-9.6E-14	0.07	7.89E-14	-36688
125	1.2D+1.6L+0.5Lr	0	21726	-4E-14	-0.07	3.74E-14	-36688
Columnas							
46	1.2D+1.6L+0.5Lr	-108209.18	194	-6.6E-12	0	0	-8E-15

4.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CÁLCULO Y REALIZACIÓN DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO DEL SALÓN PRINCIPAL.

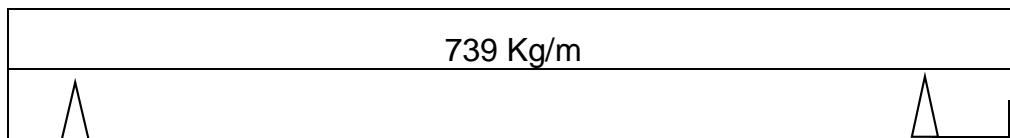


Con los resultados presentados en el numeral anterior se elaboró el diseño de los elementos que conforman el reforzamiento del salón principal.

El prediseño de la geometría de la sección de las vigas se definió con el siguiente procedimiento:

**CALCULO DE LAS VIGAS METALICAS DE REFUERZO
CUBIERTA
CARGAS ACTUANTES**

carga muerta	544	kg/ m
carga viva	195	kg/ m
Longitud	14.9	m
Vigas de cubierta en dirección	739.00	kg/ 0 m



L=14.9
m

Se supone la viga: simplemente apoyada

Momento	205081	Kg- cm
	7.4	
δ_{adm} =	2250	kg/c m ²
z =	911	cm 3

<i>Viga I 466x200x10x5mm</i>		
		1051.2 cm
z=		45 3
Peso=		22.890 kg/ 6 m



		cm
I=	24494	4
E=	2.10E+	06 kg/c m2

Se verifica la deflexión máxima en el centro de la luz, mediante el momento de inercia I requerido:

$$I = \frac{5 * q * L^4}{384 * E * d_{max}}$$

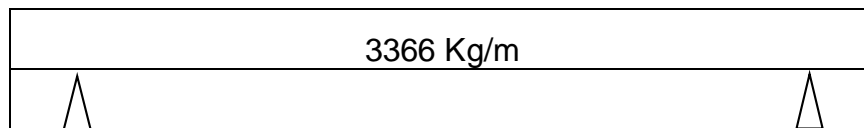
$$d_{max} = \frac{l}{300}$$

dmax= 4.97 cm

I= 2.10E+04 cm4

CALCULO DE LAS VIGAS METALICAS DE REFUERZO ENTREPISO CARGAS ACTUANTES

carga muerta	1545 kg/m
carga viva	1821 kg/m
Longitud	6.95 m
Carga por m	3366.0



L=6.95 m

Se supone la viga: Simplemente apoyada

Momento	203232
δadm=	7.7 Kg-cm
	2250 kg/cm2



z =	903 cm ³
-----	---------------------

<i>Viga I 466x200x10x5mm</i>	
	1051.2
z=	4 cm ³
Peso=	48.91 kg/m
I=	24494 cm ⁴
	2.10E+
E=	06 kg/cm ²

Se verifica la deflexión máxima en el centro de la luz, mediante el momento de inercia requerido.

$$I = \frac{5 * q * L^4}{384 * E * d_{max}}$$

$$d_{max} = \frac{l}{300}$$

dmax= 2.32 cm

I= 2.10E+04 cm⁴

El diseño definitivo de las vigas se realizó mediante el programa SAP 2000, controlando los valores de la relación demanda/capacidad a fuerza axial y flexión. También se verificó que con la sección de prediseño las deformaciones son menores a la deformación máxima, dmax calculada.

La geometría y refuerzo de la sección de las columnas se definió con el siguiente procedimiento:

Debido a que la resistencia a la compresión promedio del hormigón de las columnas existentes es menor a un hormigón estructural ($\geq 210 \text{ kg/cm}^2$), se reduce el área de la columna en un 50 %, considerando que el hormigón que trabaja es solamente el confinado por los estribos.

Se verifica que la columna resiste por capacidad de carga pero como el hormigón no es estructural se decide considerar el acero longitudinal existente, reduciendo su diámetro y confinándolo con estribos adicionales de 10 mm de diámetro cada 25 cm considerando que los estribos existentes tienen una separación de 25 cm, a una longitud de L/4 en los extremos de las columnas, además se confina la columna con hormigón armado.

$$\phi P_n(\max) = 0,85 \phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

CÁLCULO DEL ENCAMISADO DE LA COLUMNA



f' c (kg/cm ²)			
Promedio de las columnas existentes			Columnas de refuerzo
Nucleos	Esclerómetro	Promedio	
84.34	189.17	136.755	240
Ø =		0.75	
Lado de la columna cuadrada		40	cm
Recubrimiento		5	cm
Área confinada		900	cm ²
50 % Área confinada (Ag)		450	cm ²
Diámetro varillas existentes		16	mm
Diámetro considerado de varillas		12	mm
Número de varillas de acero		8	U
Área del acero (Ast)		9.05	cm ²
Resistencia a tensión del acero (fy)		4200	kg/cm ²
ØPn(máx)		44378	kg
Pu(máx)		59170	kg
Pu(máx) SAP 2000		108209	kg
Ast, acero adicionado en encamisado		16	cm ²
Área del hormigón		160	cm ²
Pu(máx) confinamiento		112821	kg
Lado de la columna cuadrada mínima requerida		32.56	cm

Considerando que no es posible constructivamente colocar la cantidad mínima del hormigón, entonces se decide colocar 15 cm de hormigón y armadura mínima.

Lado de la columna cuadrada escogida	60	cm
Armadura mínima	36	cm ²

Armadura a adicionar	26.95	cm ²
Diámetro de las varillas	14	mm
Número de varillas	18	U

VERIFICACION CAPACIDAD VIGA - COLUMNA

NUDO:	
COLUMNA SUPERIOR	
H columna (cm):	60

B columna (cm):	60
DH columna (cm):	56
As columna (cm ²):	36.00
Cuantía As columna:	0.010
COLUMNA INFERIOR	
H columna (cm):	60
B columna (cm):	60
DH columna (cm):	56
As columna (cm ²):	36.00
Cuantía As columna:	0.010
f'c (kg/cm ²):	240
f'y (kg/cm ²):	4220

Determinación de momentos resistentes

Columna superior

P ult col sup (kg):	58555
$q = \rho * fy / 0.68 f'c$	0.259
DH / H	0.933
$K = Pu/FR*B*H*f'c$:	0.104
R	0.085
$Mu = R*FR*B*H^2*f'c$ (kg-cm)	2864160

Columna inferior

P ult col sup (kg):	39463
$q = \rho * fy / 0.68 f'c$	0.259
DH / H	0.933
$K = Pu/FR*B*H*f'c$:	0.070
R	0.085
$Mu = R*FR*B*H^2*f'c$ (kg-cm)	2864160

Verificación Columna fuerte - Viga débil. Artículo 21.6.2.2

$\Sigma M_{column} / \Sigma M_{vig} \geq 1.2$	$\Sigma M_{columnas}$ (kg/cm):	5728320
	Σm_{vigas} (kg/cm):	2494835

RELACION: 2.30 CUMPLE

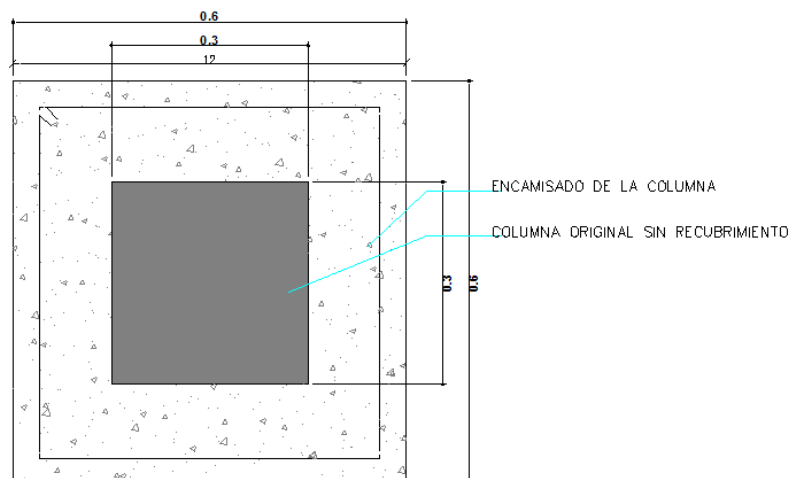


Figura 22. Esquema de la sección de todas las columnas excepto aquella ubicada en los ejes B2.



La columna 2B conforme a los ejes colocados, que está en el centro de la planta baja no cumple la verificación de capacidad viga – columna con la sección determinada anteriormente, razón por la cual se determinó la sección y refuerzo que cumplen con las condiciones de resistencia y servicio, el cálculo se muestra a continuación.

CÁLCULO DEL ENCAMISADO DE LA COLUMNA

f' c (kg/cm ²)			Columnas de refuerzo
Promedio de las columnas existentes		Promedio	
Nucleos	Esclerómetro		
84.34	189.17	136.755	240
Ø =			0.75
Lado de la columna cuadrada		40	cm
Recubrimiento		5	cm
Área confinada		900	cm ²
50 % Área confinada (Ag)		450	cm ²
Diámetro varillas existentes		16	mm
Diámetro considerado de varillas		12	mm
Número de varillas de acero		8	U
Área del acero (Ast)		9.05	cm ²
Resistencia a tensión del acero (fy)		4200	kg/cm ²
ØPn(máx)		44378	kg
Pu(máx)		59170	kg
Pu(máx) SAP 2000		108209	kg
Ast adicional		16	cm ²
Área del hormigón		160	cm ²
Pu(máx) confinamiento		112821	kg
Lado de la columna cuadrada mínima requerida		32.56	cm

Lado de la columna cuadrada escogida	80	cm
Armadura mínima	64	cm ²

Armadura a adicionar	54.95	cm ²
Diámetro de las varillas	16	mm
Número de varillas	27	U

VERIFICACION CAPACIDAD VIGA - COLUMNA



NUDO:	
COLUMNA SUPERIOR	
H columna (cm):	
B columna (cm):	
DH columna (cm):	
As columna (cm ²):	
Cuantía As columna:	
COLUMNA INFERIOR	
H columna (cm):	80
B columna (cm):	80
DH columna (cm):	64
As columna (cm ²):	64.00
Cuantía As columna:	0.010
f'c (kg/cm ²):	240
f'y (kg/cm ²):	4220

Determinación de momentos resistentes

Columna superior

P ult col sup (kg):	
$q = \rho * f_y / 0.68 f'c$	
DH / H	
$K = P_u / FR * B * H * f'c$:	
R	
$M_u = R * FR * B * H^2 * f'c$ (kg-cm)	

Columna inferior

P ult col sup (kg):	87922
$q = \rho * f_y / 0.68 f'c$	0.259
DH / H	0.800
$K = P_u / FR * B * H * f'c$:	0.088
R	0.085
$M_u = R * FR * B * H^2 * f'c$ (kg-cm)	678912 0

Verificación Columna fuerte - Viga débil. Artículo 21.6.2.2

$\Sigma M_{\text{column}} / \Sigma M_{\text{vig}} \geq 1.2$	$\Sigma M_{\text{columnas}}$ (kg/cm):	6789120
	Σm_{vigas} (kg/cm):	5188235

RELACION: 1.31 CUMPLE

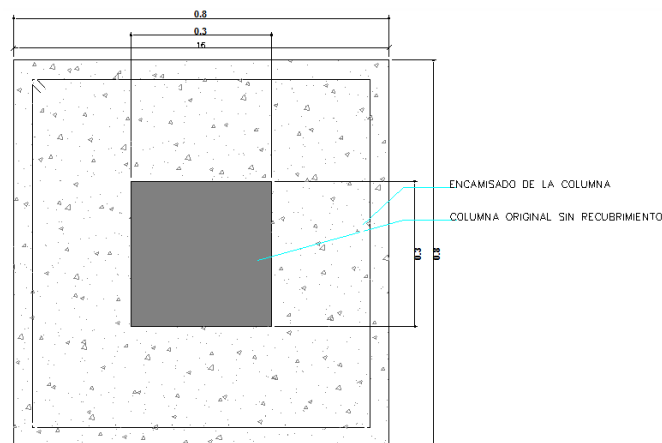




Figura 23. Esquema de la sección de la columna excepto ubicada en los ejes B2.

Los momentos de las vigas para las verificaciones de capacidad viga – columna se tomaron del modelo matemático tridimensional elaborado en el programa SAP 2000.

4.5. ELABORACIÓN DE PLANOS DE REDISEÑO.

Con los resultados del diseño elaborado se determinó las secciones de las vigas de refuerzo y del encamisado de las columnas.

Con estos resultados se realizó el plano estructural de la propuesta de rehabilitación del reforzamiento del salón principal, este es el anexo 2 del presente documento.

4.6. PRESUPUESTO GENERAL.

A continuación se presenta un resumen de los materiales para la construcción del reforzamiento del salón principal.

Resumen de materiales		
Material	Unidad	Cantidad
<i>Columnas</i>		
Hormigón Simple $f'c=240$ kg/cm ²	m ³	18.81
Encofrado recto	m ²	167.18
Acero de Refuerzo	kg	2695.33
<i>Vigas</i>		
Placas 200x10	kg	7551.70
Placas 446x5	kg	8420.15

Con este resumen de materiales, se presentan los precios unitarios elaborados para los rubros de los materiales que se indican en el resumen.

Análisis de Precios Unitarios

05-nov-16

Descrip.: Hormigón simple $f'c=240$ kg/cm² bombeado para columnas, incluye encofrado
 Unidad: m³

COSTOS DIRECTOS

Equipo y herramienta					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
Herramientas varias	Hora	1.0000	0.40	1.0000	0.40
Vibrador	Hora	1.0000	1.80	1.0000	1.80



Subtotal de Equipo:	2.20
---------------------	------

Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Agua	lt	180.0000	0.01		1.80
Arena puesta en obra	m3	0.6000	17.00		10.20
Grava puesta en obra	m3	1.0000	17.50		17.50
Alquiler de bomba para hormigón	m3	1.0000	9.50		9.50
Cemento Portland Tipo I puesto en obra	saco	8.0000	7.30		58.40
Encofrado de madera para columnas (2 usos)	m2	5.5500	10.37		57.55
Subtotal de Materiales:					154.95

Transporte					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:					0.00

Mano de Obra					
Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
Albañil (est. oc. D2)		3.0000	3.22	1.0000	9.66
Técnico obras civiles		1.0000	3.39	0.2000	0.68
Peón (Est. ocup E2)		5.0000	3.18	1.0000	15.90
Subtotal de Mano de Obra:					26.24

Costo Directo Total: 183.39

COSTOS INDIRECTOS
20 %
36.68

Precio Unitario Total.....	220.07
----------------------------	--------

Análisis de Precios Unitarios

05-nov-16

Descrip.: Acero de refuerzo, fy=4200Kg/cm2
 Unidad: kg



COSTOS DIRECTOS

Equipo y herramienta					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
Herramientas varias	Hora	2.0000	0.40	0.0300	0.02
Subtotal de Equipo:					0.02

Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Varios	Global	0.0250	1.60		0.04
Acero en varillas	kg	1.0500	1.11		1.17
Alambre de amarre No. 18 negro recocido	kg	0.0500	2.05		0.10
Subtotal de Materiales:					1.31

Transporte					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:					0.00

Mano de Obra					
Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
Fierrero		1.0000	3.22	0.0300	0.10
Técnico obras civiles		1.0000	3.39	0.0090	0.03
Peón (Est. ocup E2)		2.0000	3.18	0.0300	0.19
Subtotal de Mano de Obra:					0.32

Costo Directo Total: 1.65

20 %	0.33

Precio Unitario Total	1.98
-----------------------------	------

Análisis de Precios Unitarios

05-nov-16

Descrip.: Acero estructural en pletina, suministro y montaje con equipo manual
 Unidad: kg



COSTOS DIRECTOS

Equipo y herramienta					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
Herramientas varias	Hora	2.000	0.40	0.1250	0.10
Equipo de suelda	Hora	1.000	2.00	0.1250	0.25
Subtotal de Equipo:					0.35

Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Suelda	kg	0.1000	3.40		0.34
Pletina de acero laminado A 36	kg	1.0500	1.39		1.46
Subtotal de Materiales:					1.80

Transporte					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:					0.00

Mano de Obra					
Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
Fierrero		1.0000	3.22	0.1250	0.40
Peón (Est. ocup E2)		2.0000	3.18	0.1250	0.80
Subtotal de Mano de Obra:					1.20

3.31

COSTOS INDIRECTOS

0.66

Precio Unitario Total	3.97
-----------------------------	------

En base a estos análisis de precios, el presupuesto para la propuesta de reforzamiento del salón principal se muestra en la siguiente tabla.

PRESUPUESTO				
Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
ENCAMISADO DE COLUMNAS				9,475.88
Hormigón simple $f'c=240$ kg/cm ² bombeado para columnas, incluye encofrado	m3	18.81	220.07	4,139.12



Acero de refuerzo, fy=4200Kg/cm2	kg	2,695.33	1.98	5,336.76
ESTRUCTURA DE HORMIGÓN Y METÁLICA				63,408.23
Acero estructural en perfiles, suministro y montaje con equipo manual	kg	15,971.85	3.97	63,408.23
			Total	72884.11



CONCLUSIÓN.

Luego del desarrollo integral de la monografía se establece la conclusión acerca de la propuesta de diseño del reforzamiento del salón principal del Centro de Retiros de la Universidad del Azuay.

La rehabilitación del Salón Principal del Centro de Retiros de la Universidad del Azuay mediante el reforzamiento estructural es factible técnicamente y constituye una vía conveniente desde el punto de vista económico respecto a lo que significaría su pérdida y demolición.

RECOMENDACIONES

1. Proceder de inmediato a realizar el proyecto ejecutivo de la rehabilitación estructural del Salón Principal atendiendo los estudios y resultados de este trabajo, evitando que el proceso de deterioro sea irreversible.
2. Tanto los elementos originales de la estructura del Salón Principal como los del refuerzo deben tener un mantenimiento adecuado y continuo con la finalidad de evitar el deterioro que puede afectar a toda la estructura a corto o largo plazo, generando nuevos problemas.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Álvarez Rodríguez Odalys. Patología, Diagnóstico y Rehabilitación de Edificaciones. La Paz, Bolivia: Instituto de Ensayos y Materiales, Universidad Mayor de San Andrés; 2003.
- (2) Barrera Hugo, Pérez Horacio, Sandoval Román. La carbonatación en edificios de Santiago. Chile: Admin; 2003.
- (3) Melli Piralla Roberto. Seguridad estructural y criterios de diseño. En: Grupo Noriega, editor del libro. Manual de diseño estructural, tomo 1. México: LIMUSA S.A.; 1993. p. 51-108.
- (4) Cruz Rovira Carlos Alberto, Figueroa Catalan Paolo Roberto, Hernandez Castillo Carlos Leonardo. Resumen. En: Flores Alvarado Adry Viviana, Herrera Coello Herber Orlando, directores. Estructuración, análisis y diseño estructural de elementos de techo con perfiles metálicos utilizando el método LRFD. San Salvador: Universidad de El Salvador; 2012.
- (5) Fundación Wikimedia, Seguridad estructural. 2007- [actualizada el 13 de agosto del 2014; acceso 12 de agosto del 2016]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Seguridad_estructural
- (6) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Código Técnico de la Edificación. España: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Código Técnico de la Edificación; 2015- [acceso 12 de agosto del 2012]. Disponible en: <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/dbse/se1/>
- (7) Escada, Escada Constructora. Alicante: Grupo Camaleón Creativos; [acceso 12 de agosto del 2012]. Disponible en: <http://www.escadaconstructora.com/rehabilitacion-viviendas-edificos-alicante>
- (8) <http://sites.google.com/site/iborarq/rehabilitacion/estructural> (sección: 1.8 Estado del arte)
- (9) Fundación Wikimedia, Pirólisis. 2011- [actualizada el 04 de abril del 2016; acceso 13 de agosto del 2016]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Pirólisis>
- (10) Ruiz Benitez Jhonatan, Álvarez Mendoza Alinee Alejandra, Pérez Cruz Alicia, Fundamentos de la materia en la ingeniería. Hidalgo: Plantilla Ethereal; 2010- [acceso 10 de julio del 2012]. Disponible en: <http://quimicafundamental1d.blogspot.com/p>
- (11) Miravete Antonio, Los nuevos materiales en la construcción. Barcelona: Reverté; 1995- [acceso 08 de febrero del 2012]. Disponible en: http://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=utffov_vfPkMC&oi=fnd&pg=PA9&dq=MATERIALES+PARA+REFORZAR+LA+ESTRUCTURA+DE+UN+EDIFI



CIO&ots=Gbp5y4DoEP&sig=1EMiTqZ6-
R6b9AkNp0ydXV0JT1Y#v=onepage&q&f=false

(12) Geosisa, Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja", Manual de evaluación de estructural afectadas por corrosión de la armadura. España: Geosisa, Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja; [acceso 01 de enero del 2013]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjrx_7R3LTOAhVHJB4KHZGjDckQFgg6MAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.ietcc.csic.es%2Ffiles%2Fmanual_espa.pdf&usg=AFQjCNHrKppwXAs00SdXW2WINRXvd9TKZw&sig2=k48gJia124aq5wWFJbyd1Q&bvm=bv.129389765,d.dmo

(13) Fundación Wikimedia, Solicitud. 2010 [actualizada el 22 de noviembre del 2013; acceso el 03 de agosto del 2016]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Solicitud>

(14) Helene Paulo, Pazini Figueiredo Ednio, Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón, reparación, refuerzo y protección. Sao Paulo: Paulo Helene; Fernanda Pereira; 2003- [acceso 06 de febrero del 2013]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/35762562/Manual-Rehabilitacion-de-Estructuras-Hormigon-Reparacion-Refuerzo>

(15) Fundación Wikimedia, Potencial eléctrico en soluciones iónicas. 2011- [actualizada el 11 de agosto del 2014; acceso 19 de agosto del 2016]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Potencial_electrico_en_soluciones_ionic

(16) González Oscar, Corrosión. Venezuela: 2000- [acceso 05 de agosto del 2012]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos3/corrosion/corrosion.shtml>

(17) Mauricio Eduardo Delgado Ojeda, Estudio de la posibilidad de ampliación del edificio Rodriguez, de la Secretaría Ministerial de Salud, novena región. Valdivia: 2007- [acceso 08 de diciembre del 2012]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcd352e/doc/bmfcd352e.pdf>

(18) Néstor F. Ortega, Marianela Ripani, Experiencias en el empleo de ensayos no destructivos, en el análisis de estructuras de hormigón afectadas por diferentes situaciones patológicas. Buenos Aires: 2007- [acceso el 06 de enero del 2013]. Disponible en: <http://ndt.net/article/panndt2007/papers/38.pdf>

(19) Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña, Direcció General d'Arquitectura i Habitatge de la Generalitat de Catalunya, Métodos de Ensayo del Hormigón no Destructivos: Esclerómetro. Cataluña: 2007- [actualizada el 18 de julio del 2007; acceso 05 de febrero del 2013]. Disponible en: http://www.construmatica.com/construpedia/M%C3%A9todos_de_Ensayo_del_Hormig%C3%B3n_no_Destructivos:_Escler%C3%B3metro.



(20) Juan Pérez Valcárcel, Patología de estructuras de hormigón armado. [acceso el 05 de agosto del 2016]. Disponible en: www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/pub-val/Patologia/trasparencias%20patologia.pdf

(21) Wikilibros, Patología de la edificación/Estructuras metálicas/Acero/Causas materiales y mecanismos de deterioro. 2006-[actualizado el 13 de septiembre del 2008; acceso 05 de agosto del 2016]. Disponible en: https://es.wikibooks.org/wiki/Patolog%C3%ADa_de_la_edificaci%C3%B3n/Estructuras_met%C3%A1licas/Acero/Causas_materiales_y_mecanismos_de_deterioro#AGRESIONES_EXTERNAS

(22) <http://santiagovelez87.blogspot.com/2015/08/norma-ecuatoriana-de-la-construccion.html>

(23) Proyecto de intervención estructural de construcciones de tierra. 2013 [acceso 18 de septiembre del 2016]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwui0ozimZrPAhWFsh4KHZG0B7YQFggkMAE&url=http%3A%2F%2Fproveedores tecnicos.minvu.cl%2Fwp-content%2Fuploads%2FNorma-Tecnica-Minvu_002.pdf&usg=AFQjCNHBTT5dUHCZcDF8kJwCunFuWZ1mvg&sig2=KrO7IVoViqLLclcYWSxHjA



ANEXOS