

*Universidad de Matanzas
Facultad de Ciencias Técnicas*



**DIAGNÓSTICO DE LA ESTRUCTURA A PARTIR DEL
COMPORTAMIENTO ELECTROQUÍMICO Y FÍSICO-MECÁNICO DE
LOS MATERIALES QUE LA COMPONEN. CASO DE ESTUDIO:
ESPIGÓN LA MACHINA, TERMINAL DE CRUCEROS SIERRA
MAESTRA.**

Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil

Autor: Cheyla Domínguez Rodríguez

Tutor(es): Ing. Camila Álvarez Lazo

Ing. Alejandro Hernández Hernández

Matanzas, 2018

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

RESUMEN

Como parte de un programa de intervenciones a estructuras patrimoniales del país se decidió intervenir la Terminal de Cruceros Sierra Maestra en el municipio Habana Vieja, una edificación con más de cien años de explotación y sometida a un ambiente muy agresivo. Para darle solución a este problema se decidió realizar un diagnóstico exhaustivo de la estructura para determinar el estado de deterioro de cada uno de sus elementos, para lo cual se procedió primeramente con una inspección preliminar a la obra, lo cual arrojó como primeras impresiones que el edificio a investigar en este caso, el Espigón la Machina, se encontraba en condiciones bastantes desfavorables; luego se prosiguió a realizar el levantamiento estructural, levantamiento patológico de la edificación y la realización de los ensayos que el autor consideró más relevantes para la caracterización de los materiales, la cual se realizó por elementos y por niveles. De estas actividades se obtuvo como resultado los planos de levantamiento estructural donde se muestran las dimensiones y tipologías de cada uno de los elementos, así como una caracterización general del edificio, los planos de levantamiento patológico que muestran que existe un volumen de lesiones asociadas a humedades y aceros expuestos bastante grandes factores desencadenantes de la corrosión y de los ensayos se obtuvo que el hormigón existente es de baja calidad, presenta una durabilidad baja y el riesgo de corrosión es de moderado a alto, siendo mayores las afectaciones hacia la fachada noroeste debido a que en nuestro país los vientos son de ese sentido. Los resultados de esta investigación constituyen la base para proseguir con la adecuación de la edificación.

Palabras claves: corrosión; diagnóstico; ensayos; hormigón; inspección preliminar; levantamiento estructural; levantamiento patológico.

ABSTRACT

As part of a from interventions to structures patrimonial program of the country decided place under government control the terminal of cruises saws school mistress in the from Havana, Cuba old municipality, an edification with more than a hundred years of exploitation and subdued to a very aggressive environment. To give you solution to this problem decided carry out an exhaustive diagnosis of the structure to decide the state of deterioration of everyone of your elements, for the who is conducted first with a preliminary inspection to the work, it who threw as first printings that the building to investigate in this marry, the breakwater the crane, was in enough unfavorable conditions; then it continued to carry out the structural lifting, pathological lifting of the edification and the realization of the trials that the author considered more relevant for the characterization of the materials, the who was carried out for elements and for levels. Of these activities obtained as a result the drawing of structural lifting in which it is shown the dimensions and typologies of each of the elements, as well as a general characterization of the building, the drawing of pathological lifting they show that exists a volume of injuries become a partner of humidities and exposed enough big spirits triggers factors of the corrosion and of the trials it is obtained that the existent concrete is of low quality, presents a low durability and the risk of corrosion are of moderated to high, by being bigger the affectations towards the northwest facade due to that in our country the winds are of that sense. The results of this investigation constitute the base to continue the fitting of the edification.

Keywords: corrosion; diagnosis; trials; concrete; preliminary inspection; structural lifting; pathological lifting.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1 Proceso patológico y agentes que en el actúan.	5
1.1. Proceso patológico.	6
1.1.1. Origen de las lesiones.	7
1.1.2. Causas y síntomas de las lesiones.	8
1.2. Corrosión.	9
1.2.1. Corrosión localizada.	11
1.2.2. Corrosión generalizada.	13
1.2.3. Corrosión galvánica.	14
1.3. Procedimiento de inspección.	14
1.3.1. Inspección Preliminar.	15
1.3.2. Inspección Detallada.	17
1.4. Diagnóstico general.	22
1.4.1. Bases del diagnóstico.	22
1.4.2. Procedimiento general de diagnóstico.	23
1.5. Antecedentes de investigación.	23
Capítulo 2 Técnicas de ensayos y equipamiento utilizado en la determinación de las propiedades de los materiales y daños en la estructura.	29
2.1. Antecedentes y Tipología Constructiva.	29
2.2. Levantamiento de Estructura.	30
2.3. Levantamiento Patológico.	30
2.4. Caracterización de los Materiales.	32
2.4.1. Velocidad de la onda ultrasónica.	33
2.4.2. Porosidad efectiva del hormigón.	35
2.4.3. Detección y distribución de acero (Recubrimientos).	38
2.4.4. Resistencia a compresión del hormigón.	39
2.4.5. Resistividad del hormigón.	44
2.4.6. Potenciales de corrosión del acero.	45
2.5. <i>Softwares</i> utilizados.	48
2.5.1. <i>Surfer 13</i>	48
2.5.2. <i>AutoCAD 2018</i>	49
Capítulo 3 Análisis de resultados obtenidos de los ensayos, mediciones y levantamientos.	50
3.1. Antecedentes y Tipología Constructiva.	50
3.2. Levantamiento estructural.	51
3.2.1. Columnas.	57
3.2.2. Vigas.	61
3.2.3. Uniones.	64
3.2.4. Losa de entrepiso.	65
3.2.5. Muros.	66
3.3. Levantamiento patológico.	67
3.3.1. Patologías estructurales.	68
3.3.2. Patologías no estructurales.	71
3.3.3. Patologías de los materiales.	72

3.3.4. Determinación de los volúmenes de daños.....	75
3.4. Caracterización de los materiales.....	76
3.4.1. Ensayos físicos.....	76
3.4.2. Ensayos mecánicos.....	82
3.4.3. Ensayos electroquímicos.....	83
3.5. Análisis de resultados.....	89
Conclusiones.....	91
Recomendaciones.....	92
Bibliografía.....	93

INTRODUCCIÓN

Las excepcionales virtudes del hormigón armado como material de construcción, determinaron a fines del siglo pasado y principios del presente, una rápida expansión de su utilización. El volumen, pero sobre todo la variedad y el aspecto de las obras en hormigón armado, generó una tecnología en permanente transformación, que acumula un aporte considerable de ingenio y arte, a su vez, una industria de equipos, tanto para la fabricación como para la colocación en sitio del hormigón y su armadura, en continuo desarrollo y de amplia incidencia en la economía mundial.

Como material de construcción, se pensó que el hormigón podría tener una duración ilimitada. Sin embargo, en la actualidad se reporta un número cada día creciente de estructuras prematuramente deterioradas por corrosión del acero de refuerzo. Esta corrosión, en general, se debe al ataque destructivo de iones cloruro que penetran desde el exterior por difusión o porque fueron incorporados a la mezcla de concreto y /o a la carbonatación del recubrimiento de concreto.

La corrosión en la armadura del hormigón es un área claramente interdisciplinaria donde la química, en especial la electroquímica y la cinética, tienen un papel principal. La indicación elocuente de la importancia del tema, se manifiesta en el creciente número de artículos especializados en revistas científico-técnicas, en la aparición de nuevas empresas orientadas a los trabajos en corrosión y a través de la divulgación y diversificación de instrumental para el monitoreo del medio ambiente y la medición de las características relevantes del hormigón para definir su respuesta al fenómeno de corrosión.

Los especialistas señalan la importancia de un correcto diagnóstico, existiendo el riesgo de que intervenciones incorrectas reduzcan la durabilidad que tiene la estructura primitiva. Consideraciones de orden técnico y económico determinan las medidas a tomar. La diversidad de procedimientos y productos ofrecidos en el mercado constituye todavía un amplio campo de investigación a partir de los fundamentos teóricos y de los resultados obtenidos en los casos que han sido aplicados.

Los costos de mantenimiento de la estructura, como los de corrección o contención de las patologías generadas por el fenómeno, cuando éstos son técnicamente posibles, son económicamente tan significativos como para que se estimule la investigación científica y tecnológica, así como los procesos de aplicación rápida de los resultados obtenidos. A nivel mundial se han venido produciendo pérdidas cuantiosas debido a este problema.

Es importante resaltar que la calidad y la duración de las reparaciones de estructuras de hormigón armado dependen de la correcta evaluación y de un acertado diagnóstico del problema, basados en adecuados procedimientos de inspección. Numerosos organismos a nivel mundial han venido trabajando consistentemente para documentar el tema. Sin embargo, al no existir un consenso sobre el particular, las inspecciones se han venido realizando de forma diferente, causando en algunas oportunidades inadecuadas reparaciones y excesivos gastos económicos en la rehabilitación.

En el caso de nuestro país existen muchas edificaciones antiguas con valor patrimonial que a causa fundamentalmente de la falta de mantenimiento hoy se encuentran con un grado de deterioro elevado. En respuesta a esto y como parte del desarrollo económico del país y en vista al próximo aniversario de la fundación de la Ciudad de la Habana se ha implementado un plan de inversiones para la ejecución de instalaciones hoteleras de alto estándar en edificaciones existentes con alto valor patrimonial. La primera instalación de este tipo que se erigió con este fin fue el edificio conocido como la Manzana de Gómez. Luego y tras su exitosa restauración han devenido otras como edificio Regis, Hotel Corona y edificio Metropolitano. Otra edificación sin lugar a dudas en la lista de intervenciones es la Terminal de Cruceros Sierra Maestra, que debido al evidente estado actual de deterioro que presenta la misma y su importancia para el desarrollo de la actividad crucerística de la capital, e hace necesario devolverle su esplendor y confort, por lo cual surge como **problema científico**, cómo elaborar un diagnóstico de la estructura a partir del comportamiento electroquímico y físico-mecánico de los materiales que la componen.

Consecuentemente con lo planteado anteriormente se deriva la siguiente **hipótesis**: Si se realiza un diagnóstico de la estructura a partir del comportamiento electroquímico y

físico-mecánico de los materiales que la componen, se logrará determinar el grado de deterioro que presenta la misma, fundamentalmente producto a la corrosión.

Por ello el autor establece como objetivo general de la investigación elaborar la evaluación y diagnóstico del Espigón La Machina de la Terminal de Cruceros Sierra Maestra utilizando los ensayos de resistividad, resistencia a la compresión del hormigón, potenciales de corrosión, porosidad del hormigón y velocidad de la onda ultrasónica.

Objetivos específicos:

1. Analizar el estado del arte referente a las patologías en la construcción, fundamentalmente de las afectaciones causadas por procesos electroquímicos, en este caso, la corrosión y proceso de diagnóstico.
2. Describir procedimientos y equipos a emplear en la cuantificación de las patologías.
3. Analizar los resultados obtenidos de los ensayos y levantamientos realizados (planos y gráficos).

Tareas de la investigación:

1. Análisis del estado del arte referente a los procesos patológicos, haciendo énfasis en el proceso de corrosión.
2. Definición de ensayos y equipamiento a utilizar para la evaluación.
3. Levantamiento estructural in situ.
4. Levantamiento patológico in situ.
5. Realización de ensayos a pie de obra.
6. Elaboración de los planos en *AutoCAD* para la mejor comprensión de los levantamientos tanto estructurales como patológicos.

7. Obtención de los mapas de comportamiento en el *software Surfer* con los datos obtenidos de los ensayos.
8. Análisis de resultados.

Los métodos de investigación que se utilizaron en el trabajo estarán determinados por el objetivo general y las tareas de investigación previstas. Se utilizarán métodos **teóricos** como el Histórico - Lógico, Inductivo – Deductivo y Analítico – Sintético; como métodos **empíricos** los de observación directa y experimentación.

La tesis estará **estructurada** en introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

En el **Capítulo 1** se realiza un estudio del tema patologías en la construcción, fundamentalmente de las afectaciones causadas por procesos electroquímicos, en este caso, la corrosión.

En el **Capítulo 2** se caracterizan los materiales y métodos a emplear para realizar el diagnóstico.

En el **Capítulo 3** se muestran los resultados de evaluación de la estructura apoyándose en imágenes, gráficos, tablas, mapas, etc. y se realiza un análisis de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 1 PROCESO PATOLÓGICO Y AGENTES QUE EN EL ACTÚAN.

La palabra “patología” conforme al diccionario de la Real Academia procede de las palabras griegas “pathos”, que quiere decir enfermedad o afección y “logos” que significa estudio o tratamiento y en castellanos se define como la parte de la medicina que trata el estudio de las enfermedades. La adaptación del vocablo al mundo de la construcción tiene por su parte varios autores tales como:

- Según Do Lago Helene, Paulo R., (Helene., 1997): Parte de la Ingeniería que estudia los síntomas, los mecanismos, las causas y los orígenes de los desperfectos de las obras civiles, o sea, es el estudio de las partes que componen el diagnóstico del problema.
- Según Monk, Felipe. (2004): Es la explicación científica de las causas de los deterioros y las enfermedades de la construcción, dando bases de determinación simple o compleja de los fenómenos físicos, químicos, biológicos y de meteorización entroncados con una racional convergencia histórica, cultural y antropológica.
- Según Broto, Carles,(Broto, 2006) : Ciencia que estudia los problemas constructivos que aparecen en el edificio (o en algunas de sus unidades) después de su ejecución.
- Según Zanni, Enrique. (2008): Es la especialidad dentro de la Tecnología, que estudia las alteraciones que se producen en el estado ideal de equilibrio, de funcionamiento o de servicio de un edificio.
- Según el autor patología de las edificaciones no es más que el estudio del conjunto de los procesos degenerativos caracterizados por la alteración de los materiales y los elementos constructivos.

1.1. Proceso patológico.

Para entender con mayor exactitud las fases que comprenden el proceso patológico y por lo tanto el proceso en si el autor muestra el siguiente esquema:

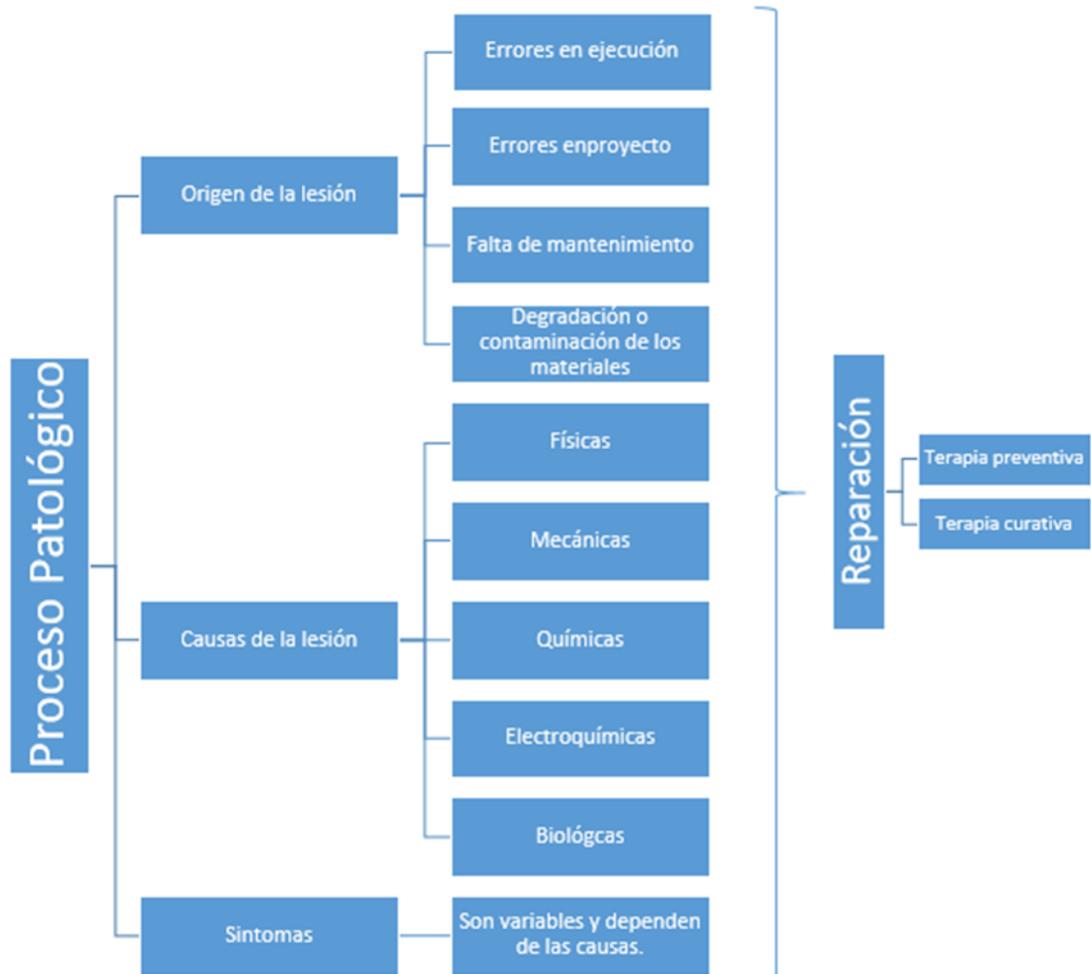


Figura 1.1 Agentes que actúan en el proceso patológico. (Fuente: Elaboración del autor)

En resumen el proceso patológico es el conjunto de acciones que se producen en una edificación, o parte de ella, desde el momento en que se presenta un deterioro en su funcionamiento o una lesión, en definitiva una patología y hasta el momento en que el edificio recupera las condiciones básicas para las que fue construido, mediante la correspondiente reparación.

1.1.1. Origen de las lesiones.

Según (Mingo, 2004) las patologías pueden originarse durante las tres etapas generales del periodo del ciclo de vida del edificio, dígase estas como, diseño o proyecto, construcción y puesta en funcionamiento o uso del mismo. Los procesos de deterioro por otra parte, pueden surgir, según algunos estudios realizados a nivel mundial, por errores de ejecución, errores de proyecto, falta de mantenimiento y por degradación o contaminación de los materiales.

Cabe resaltar que la identificación del origen del problema permite también identificar, para fines judiciales, quién cometió la falla. Así, si el problema tuvo origen en la fase de proyecto, el proyectista falló; cuando el origen está en la calidad del material, fue el fabricante quien falló; si en la etapa de ejecución, se trata de falla de la mano de obra y la fiscalización o la constructora fueron omisas; si en la etapa de uso, la falla es de operación y manutención.

Según cifras estadísticas, los porcentos en los que estos deterioros surgen son los siguientes:

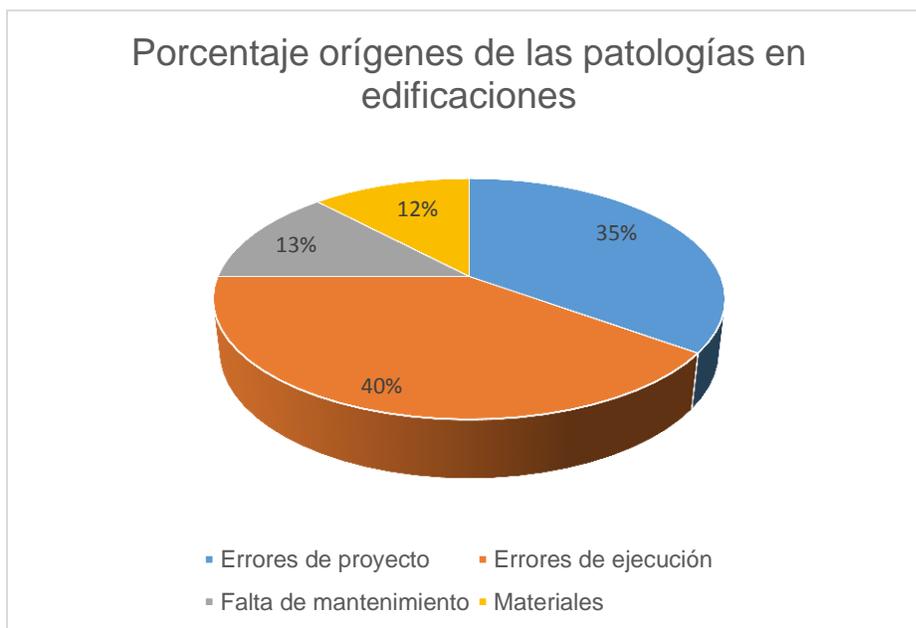


Gráfico 1.2 Orígenes de las patologías. (Fuente: Elaboración del autor)

Como puede apreciarse un elevado porcentaje de las manifestaciones patológicas tiene origen en las etapas de planeamiento y proyecto y son en general más graves que las fallas de calidad de los materiales o de mala ejecución. Es siempre preferible invertir más tiempo en el detallamiento del diseño de la estructura, que por falta de previsión, tomar decisiones apresuradas y adaptadas durante la ejecución. Es importante destacar, que la falta de mantenimiento, es en Cuba, uno de los factores fundamentales que desencadena el estado patológico de una edificación.

1.1.2. Causas y síntomas de las lesiones.

Las causas que afectan las estructuras son muy variadas y por tanto se deben analizar de forma distinta para cada proceso patológico. En la siguiente tabla se sintetizan las tipologías generales de las lesiones y las sintomatologías que permitirá comprender las características distintivas de cada una de ellas independientemente del momento porcentual en las que se han producido. (Mingo, 2004)

Tabla 1.1 Tipología y sintomatología de las lesiones. (Fuente: Elaboración del autor)

<i>Tipología de la lesión</i>	<i>Sintomatología</i>
Físicas: Agentes atmosféricos (heladas, acciones eólicas, cambios bruscos de temperatura, etc.)	Humedad
	Erosión física
	Meteorización
	Suciedad
Mecánicas: Esfuerzos mecánicos no previstos (compresión, tracción, etc.)	Deformaciones
	Agrietamientos
	Fisuraciones
	Desprendimientos
	Erosión mecánica
Químicas: Interacción entre materiales, contaminación atmosférica, etc.	Disgregación o disolución
	Oxidación
	Eflorescencia
	Explosión – combustión
	Deformación
	Meteorización
Electro-químicas	Corrosión

Biológicas: Interacción entre agentes biológicos y materiales (acción de microorganismos y macrorganismos).	Pudrición parda
	Pudrición blanca
	Disgregación

Cualquiera que sea la causa determina en gran medida el carácter del proceso y por tanto, el de las lesiones, y evidentemente a cada causa corresponderá una terapia más adecuada y más duradera.

1.2. Corrosión.

La corrosión de la armadura en el hormigón consiste en la oxidación destructiva del acero, por el medio que lo rodea. Así, la corrosión ocurre como resultado de la formación de una celda electroquímica, la cual consiste en cuatro elementos principales (Figura 1.2): 1) un ánodo, donde ocurre la oxidación; 2) un cátodo, donde ocurre la reducción; 3) un conductor metálico, donde la corriente eléctrica es el flujo de electrones y 4) un electrolito, en este caso el hormigón, donde la corriente eléctrica es generada por el flujo de iones en un medio acuoso. (Díaz., 1997; Tobón, 2015)

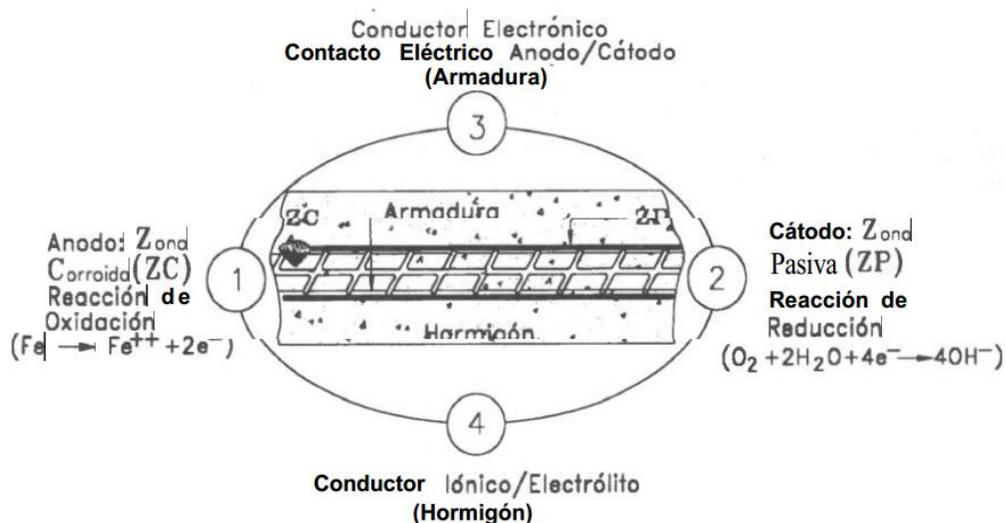


Figura 1.2 Elementos Constituyentes de la Celda de Corrosión. (Fuente: (Díaz., 1997))

La corrosión electroquímica del acero en el hormigón resulta de la falta de uniformidad en el acero (diferentes aceros, soldaduras, sitios activos sobre la superficie del acero),

contacto con metales menos activos, así como también, de las heterogeneidades en el medio químico o físico (hormigón) que rodea al acero. Aunque la potencialidad para la corrosión electroquímica puede existir debido a la falta de uniformidad del acero en hormigón, la corrosión normalmente se previene por la formación de esa película de óxido de hierro «pasivante» mencionada con anterioridad. Pero, cuando las condiciones de servicio cambian y el hormigón se altera o a través de él penetran sustancias agresivas, se produce el rompimiento de esta película y la corrosión de las armaduras se desencadena con una triple consecuencia:

- El acero disminuye su sección o incluso se convierte completamente en óxido,
- el hormigón puede fisurarse o de laminarse debido a las presiones que ejerce el óxido expansivo al generarse y
- la adherencia armadura-hormigón disminuye o desaparece.

Es importante resaltar que sin la presencia simultánea en el hormigón de oxígeno y humedad no es termodinámicamente posible la corrosión y, sin una cantidad mínima crítica, no es posible que se desarrolle con velocidad apreciable. Ambos factores tienen un carácter ambivalente, pues cuando las armaduras están pasivadas, una cierta cantidad de oxígeno y humedad pueden servir para engrosar la capa pasivante, pero, cuando las armaduras se corroen activamente, actúan acelerando notablemente el ataque. En su ausencia, sin embargo, lo detienen completamente.

Así, los problemas de corrosión del acero estructural están íntimamente asociados a la despasivación del mismo, por el proceso electroquímico resultante de las variaciones del medio químico sobre las distintas interfaces hormigón/acero y de las diferencias metalúrgicas y mecánicas del metal. Estas variaciones originan gradientes de potencial, con flujo de corrientes eléctricas llevando a la formación de áreas anódicas y catódicas que constituyen las celdas de corrosión.(Díaz., 1997)

En el hormigón armado, las formas que puede adoptar la corrosión de la armadura son diversas. Fontana (1967) ha clasificado los diferentes tipos/formas de corrosión de acuerdo a la apariencia física del ataque.

1.2.1. Corrosión localizada.

- Corrosión por Picaduras.

Según (Díaz., 1997) las picaduras se forman por la disolución localizada de la película pasiva típicamente resultan del ingreso de iones cloruro al medio, bien sea porque provienen del medio exterior o porque fueron incorporados en la masa de hormigón.

De esta manera, se forma una celda de corrosión donde existe un área pasiva intacta, actuando como cátodo, en la cual se reduce el oxígeno y una pequeña área donde se ha perdido la película, actuando como ánodo, en la cual ocurre la disolución del acero. Varios factores actúan en conjunto para mantener o profundizar las picaduras existentes, más que para extender la corrosión o generar nuevas picaduras.

En el ánodo se produce ácido, debido a que los iones cloruro favorecen la hidrólisis del Fe en agua para formar H^+ y Cl^- libre. Esto decrece el pH localmente y los iones cloruro permanecen en el medio para seguir interviniendo en el proceso de corrosión, agravando el problema.

- Corrosión en Espacios Confinados.

La corrosión de este tipo puede ocurrir cuando sobre la superficie del metal existe un espacio lo suficientemente resguardado que evita el acceso continuo del oxígeno a esa zona, pudiendo crearse celdas diferenciales de oxígeno que inducen a la corrosión del refuerzo.

Existen varias situaciones que pueden inducir a este daño. Entre ellas se puede mencionar la inyección de grietas (estructurales o por corrosión) con material epóxico, donde ya el medio agresivo ha llegado al refuerzo, siendo esta zona donde la corrosión se aceleraría por la falta de acceso de oxígeno. Otro ejemplo puede ser la corrosión de acero de refuerzo con revestimientos, como por ejemplo en el caso del uso de epóxicos, cuando la adhesión entre éste y el acero se ha deteriorado. Adicionalmente, si hay iones cloruro en el hormigón, éstos pueden acumularse en el intersticio resultante entre el recubrimiento y el acero. El pH dentro de ese espacio confinado disminuye y el proceso de corrosión se

sigue agravando por un proceso autocatalítico, similar al de corrosión por picadura, todo lo cual origina una mayor pérdida de adherencia. El deterioro de la adherencia entre el acero y el recubrimiento se puede producir por daño mecánico (durante el doblado de las varillas) o por procesos electroquímicos que pudieran darse en el hormigón aun antes que los iones cloruro lo penetren. (Díaz., 1997)

- Corrosión bajo tensión.

Este tipo de corrosión ocurre cuando se dan conjuntamente dos circunstancias: esfuerzos de tracción sobre el acero y un medio agresivo. Esto ocurre preferencialmente en hormigón pretensado o postensado, donde se utilizan aceros de alta resistencia, debido, en general, a la presencia de hidrógeno atómico difundiendo a través del metal. Este hidrógeno puede provenir de diferentes fuentes: corrosión del acero, protección catódica, etc. Este daño produce también fragilidad por hidrógeno. La corrosión bajo tensión es un fenómeno muy específico, generalmente asociado a una mala calidad del hormigón (mal relleno de las vainas), o a la presencia de determinados iones, generalmente aportados por algunos aditivos, o al uso de un determinado tipo de acero (templado y revenido).

En el caso de aceros pretensados, la presencia de picaduras por corrosión causada por iones cloruro, puede inducir a que el acero presente corrosión por tensiones. La única manera de confirmar la fragilidad por hidrógeno o la corrosión bajo tensión es mediante la observación microscópica de las superficies de fractura. Este daño es considerado del tipo catastrófico, ya que está asociado a una pérdida de ductilidad y a la fractura de la armadura. (Díaz., 1997)

- Corrosión por corrientes de interferencia.

Las corrientes de interferencia, llamadas también vagabundas, erráticas o de fuga (términos utilizados en algunos países), pueden ser definidas como las corrientes que fluyen en una estructura y que no forman parte del circuito eléctrico/celda electroquímica específica. Para que ocurra corrosión por corrientes de interferencia debe existir un intercambio de corriente entre una estructura metálica y un medio electrolítico. La

corriente continua es la que tiene el efecto más pronunciado sobre la corrosión, ya que ésta fluye continuamente en un solo sentido. Por el contrario, la corriente alterna, que invierte su dirección alrededor de una centena de veces por segundo, puede causar un efecto mucho menos pronunciado.

Las fuentes más comunes de este tipo de corrientes son: sistemas de protección catódica operando en las cercanías de estructuras de hormigón armado, especialmente en medios de muy baja resistividad, como lo es el agua salobre; sistemas con potencia eléctrica, como los trenes eléctricos; máquinas de soldar, donde la estructura conectada a tierra se encuentra a cierta distancia de los electrodos de soldar; corrientes telúricas (asociadas a la actividad solar y al campo magnética de la tierra). Independientemente de la fuente, las corrientes que fluyen en un medio electrolítico son manifestaciones de diferencias de voltaje. Si en el entorno de estos gradientes de voltajes, se encuentra situada una estructura de hormigón reforzada con acero, puede existir un intercambio de corriente con el mismo, donde el punto de entrada de corriente actuaría como cátodo, pero la salida sería la zona anódica que podría causar la disolución del metal, corroyéndolo.

Es importante indicar que, si el acero se encuentra pasivado en un hormigón no contaminado por cloruros, esta corriente de interferencia no produciría la corrosión del refuerzo, ya que lo podría mantener pasivo o llevar a la zona de inmunidad. Por el contrario, si el hormigón contiene cloruros, la corrosión del refuerzo se vería acelerada drásticamente por el efecto de estas corrientes. (Díaz., 1997)

1.2.2. Corrosión generalizada.

La corrosión uniforme es el resultado de una pérdida generalizada de la película pasiva, resultante de la carbonatación del hormigón y/o la presencia de excesiva cantidad de iones cloruro. También puede ocurrir por efecto de la «lixiviación» del hormigón producida por la percolación y/o lavado por aguas puras o ligeramente ácidas. (Díaz., 1997)

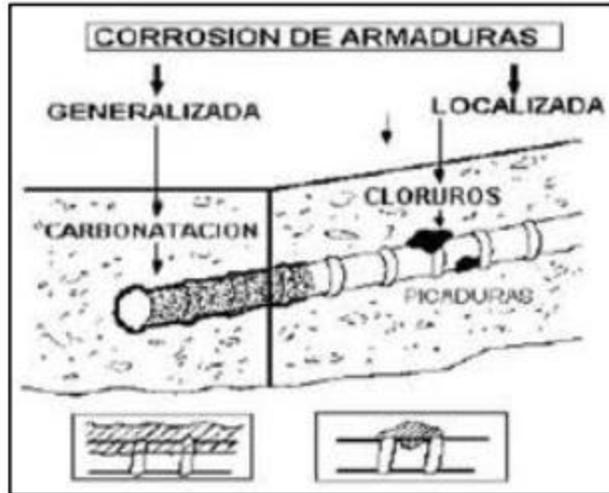


Figura 1.3 Corrosión Generalizada y Corrosión localizada. (Fuente: (Santos))

1.2.3. Corrosión galvánica.

Este tipo de corrosión se puede dar cuando existen dos metales diferentes en el medio electrolítico. En el caso del acero en hormigón, esta situación se dará cada vez que en alguna zona se dañe o no se forme la película pasiva característica. Esta zona actuará como un ánodo frente al resto del material, donde permanece la pasivación, el cual actuará como cátodo. También se podría presentar cuando el refuerzo se encuentre en contacto con otros conductores más nobles. En general, se asocia al funcionamiento de una macrocelda. Un ejemplo típico es el caso de armaduras exteriores que se corroen al ingresar los cloruros, mientras que las armaduras interiores permanecen pasivas.(Díaz., 1997)

1.3. Procedimiento de inspección.

Los procedimientos relacionados con la inspección de una estructura de hormigón armado desde el punto de vista de corrosión pueden implicar una labor bastante sencilla en algunos casos o, por el contrario, una muy ardua en otros, según la complejidad de los problemas, así como dependiendo de la magnitud y naturaleza de la obra. Antes de abordar esta actividad debe conformarse un equipo multidisciplinario de trabajo con al

menos un especialista en corrosión, uno en estructura y uno en técnicas constructivas.(Díaz., 1997)

De acuerdo al tipo y magnitud de la información que se desee obtener se puede hablar de una Inspección Preliminar y de una Inspección Detallada.

1.3.1. Inspección Preliminar.

Según (Díaz., 1997) en base a la información obtenida mediante esta etapa, es posible ya determinar la naturaleza y el origen del problema, o bien constituir sólo la etapa previa a un estudio más detallado.

Las actividades propias de esta etapa son:

- Elaboración de una Ficha de Antecedentes de la Estructura y del Medio.
 - a. Estructura: Se debe procurar recoger la mayor información posible referente a la edad o tiempo en servicio, naturaleza y procedencia de los materiales del hormigón, dosificación y resistencia característica del hormigón, tecnología de fabricación del hormigón, edad del inicio de los problemas, diagnósticos y/o reparaciones anteriores, niveles de tensiones de trabajo de los elementos o componentes estructurales, eventuales cambios de uso.
 - b. Medio: Información que permita caracterizar su agresividad. Es fundamental señalar la forma de interacción entre el medio y la estructura afectada; en este sentido, posteriormente corresponderá al criterio y experiencia del evaluador el determinar y calificar la intensidad de dicha interacción (de acuerdo a sus efectos, por ejemplo).
- Examen Visual General de la Estructura.

Este proceso debe permitir determinar si el problema se presenta por igual en todos los elementos de las mismas características, o si existen diferencias por causas locales (puntuales). Para ello, debe realizarse un examen diferenciado por elementos, registrando los signos aparentes de corrosión (manchas de óxido: color, extensión y curso; fisuras: ubicación, dirección y dimensiones; zonas de desprendimiento del recubrimiento de hormigón con/sin exposición de la armadura), degradación del hormigón, así como cualquier otra seña particular que pudiera constituir un indicativo de algún agente externo.

Es importante elaborar un registro fotográfico amplio que acompañe las observaciones. Luego, además de binoculares (para acceder a zonas en donde no es posible una observación directa), se debe incluir una cámara fotográfica apropiada como parte del equipo necesario para llevar a cabo la inspección preliminar.

Si el problema no es complejo y los evaluadores son experimentados, puede ser suficiente la información hasta aquí obtenida para dictaminar la(s) causa(s) y elaborar el pre-diagnóstico. Se procederá entonces a la elaboración de croquis/planos con el levantamiento de daños, para proceder a la rehabilitación.

En otros casos puede requerirse la realización de un mínimo de ensayos y/o mediciones ejecutables en campo (a pie de obra) durante la inspección preliminar, complementarios a la información básica obtenida, para llegar al diagnóstico. Según el caso, pueden ser elegidos puntos o zonas representativas, en donde se efectúen alguno de los siguientes ensayos:

- a. Determinación de la eventual disminución del diámetro de la armadura.
- b. Localización de armaduras y medición del espesor de recubrimiento de hormigón.
- c. Determinación de la resistividad eléctrica del hormigón.
- d. Medición de potenciales electroquímicos.

- e. Determinación de la profundidad de carbonatación y la presencia de iones cloruro en el hormigón, bien sea cualitativa o cuantitativamente.

La ejecución de estos ensayos y mediciones requiere del uso de herramientas, equipos, materiales y reactivos; por lo tanto, es recomendable prever su utilización durante una inspección preliminar. Finalmente, en otros casos los evaluadores pueden decidir que es imprescindible llevar a cabo una inspección detallada de la estructura y que la realización de los ensayos y mediciones, tengan lugar sólo en dicha etapa.

1.3.2. Inspección Detallada.

- Plan de Trabajo

Según (Díaz., 1997) si a partir de la inspección preliminar fue decidida la necesidad de llevar a cabo una evaluación más completa de la problemática en la estructura a través de una Inspección Detallada, la elaboración de un Plan de Trabajo constituye una etapa intermedia.

La concepción del Plan de Trabajo requiere de la evaluación de la información básica obtenida previamente (Antecedentes, Examen Visual General y, eventualmente, Resultados de los Ensayos y/o Mediciones de campo a pie de obra que conducen al pre-diagnóstico) y, en general, incluye las siguientes actividades:

a. Elaboración de:

1. Fichas, Croquis y/o planos para el levantamiento de daños.
2. Plan de Muestreo.
3. Tabla de tipificación de daños.

b. Selección de:

1. Las técnicas de ensayo/medición/análisis más apropiadas.

2. Las zonas y el número en que serán efectuados los ensayos/mediciones.

c. Planificación de:

1. Materiales

2. Equipamiento.

▪ Elaboración del Plan de Muestreo

Una vez reconocida la estructura a través de la inspección preliminar debe hacerse una división de ella en zonas, clasificadas de acuerdo a ciertas características y/o condiciones, que sean representativas dentro del conjunto de la estructura. Luego, los puntos de muestreo serán identificados con cada una de estas zonas, de manera que la evaluación considere y enmarque cada situación particular.

La clasificación de las zonas debe estar basada en los objetivos de la inspección y orientada a facilitar la determinación de las causas que han originado los daños por corrosión en las armaduras. Se sugiere los siguientes criterios básicos:

- a. Diferenciar las zonas con distintas exigencias estructurales/mecánicas.
- b. Identificar las características originales (al ser puesto en obra) del hormigón.
- c. Diferenciar las zonas sometidas a distintos medios (agresivos, principalmente).
- d. Establecer grados de deterioro en el hormigón y en las armaduras.

En base a estos criterios, resulta muy útil realizar una división más específica de estas zonas para la identificación final de las muestras para lo cual debe distinguirse las subdivisiones por medio de términos apropiados. La terminología a emplear no está universalmente definida; sin embargo, es de práctica común la aplicación de la siguiente clasificación:

- a. Elemento o Componente: Parte de la estructura sometida a una exigencia estructural/mecánica específica, tal como vigas, losas, pilares, paredes, cimentaciones.
- b. Lote: Conjunto de elementos o componentes fabricados con las mismas características y en las mismas condiciones.
- c. Fracción: Subconjunto de elementos o componentes de un lote sometidos a un mismo medio.
- d. Muestra: Conjunto de probetas extraídas de (o de mediciones efectuadas en) los componentes o elementos seleccionados como representativos de un lote. El tamaño de la muestra (número de ejemplares que constituyen la muestra) es variable, dependiendo principalmente de las dimensiones de la estructura y de la magnitud del problema.

La división de la estructura en base al grado de deterioro de las diferentes zonas estará soportada por los resultados del examen visual y de los ensayos previos eventualmente realizados. Los croquis y/o planos de la estructura elaborados para el levantamiento de daños deben resumir esquemáticamente y de manera simple y clara los criterios de identificación aplicados y, lo mismo que en las tablas de tipificación de daños, deberá utilizarse términos (normalizados o previamente definidos en un glosario) que describan inequívocamente la situación que se desea reflejar.

- Selección de técnicas y zonas de ensayo/mediciones/análisis.

Realizada la división de la estructura según los criterios arriba mencionados debe estimarse en esta etapa, qué tipo de ensayos, mediciones y/o análisis deberán ser llevados a cabo en la inspección detallada, y en qué (y en cuántos) puntos de muestreo serán realizados.

- Planificación de materiales y equipamiento.

En base a los resultados de las actividades de la inspección preliminar, se deberán tomar las previsiones en cuanto a la preparación de los equipos, materiales y reactivos a utilizar

(calibración, preparación de soluciones, etc.) durante la inspección detallada (o paralelamente a las obras de reparación). Se reitera la necesidad de realizar un registro fotográfico extenso y tomar en cuenta que eventualmente sea necesario el uso de binoculares o de una cámara de vídeo.

- Ejecución de la Inspección Detallada.

El Examen Visual Detallado debe considerar la inspección minuciosa, tanto del hormigón (y/o de los acabados) como del estado de las armaduras.

La inspección debe abarcar todos y cada uno de los elementos, registrándose (Fichas, Planos/Croquis de Levantamiento de Daños) las anomalías observadas. La inspección debe considerar la clasificación de las manchas de óxido (color, aspecto, extensión) y la morfología del ataque (uniforme o localizado, profundidad y extensión de picaduras, etc.).

La realización de ensayos y mediciones en el hormigón y en la armadura, así como la extracción de muestras a ser analizadas en laboratorio, puede ser llevada a cabo durante el examen visual detallado (ejecución del Plan Trabajo).

- Ensayos a realizar en una Inspección Detallada

Como ya ha sido señalado, una parte muy importante de la información básica necesaria para poder efectuar un dictamen sobre las causas que han podido determinar la corrosión de las armaduras y su propagación, se obtiene realizando apropiados ensayos sobre las armaduras y el hormigón de la estructura.

Los ensayos mínimos a realizar serán los siguientes:

- a. Para la evaluación del hormigón:

- 1. Resistividad**

- 2. Ultrasonido**

3. Esclerometría

4. Profundidad de Carbonatación

5. Concentración de Cloruros

- 6. Resistencia a la Compresión**

7.Porosidad

b. Para la evaluación de la armadura:

1. **Localización de la armadura y espesor de recubrimiento.**
2. La pérdida de diámetro del refuerzo y su límite elástico.
3. **La medición de potenciales**
4. La medición de la velocidad de corrosión

1.4.Diagnóstico general.

Según (Díaz., 1997), establecer el diagnóstico para una estructura resulta de un proceso lógico de análisis e interrelación de todos los hechos, resultados y observaciones realizados en las etapas de inspección. La información debe ser sopesada y críticamente analizada a la luz de los distintos criterios de evaluación establecidos, aportados por el presente Manual y/o por la experiencia del evaluador en función del estado de arte de la investigación sobre las diferentes patologías de las estructuras de hormigón armado.

1.4.1. Bases del diagnóstico

El diagnóstico estará basado en los dos grupos de información principal Información sobre el medio ambiental y sobre las condiciones actuales de la estructura. Sobre esta base, la información de las condiciones de la estructura debe ser examinadas en primer término para establecer la presencia de corrosión, como para requerir reparaciones de importancia o urgentes.

Es necesario determinar los riesgos que involucra el deterioro del elemento o estructura analizada para poder establecer, en conjunto, la gravedad y magnitud del daño y la urgencia de la reparación pertinente. Al efectuar estas evaluaciones se pueden presentar varias posibilidades, que involucran la presencia o no de corrosión de la armadura en el hormigón sano o deteriorado. (Díaz., 1997)

1.4.2. Procedimiento general de diagnóstico

Luego de analizar los resultados de las inspecciones y evaluaciones, según (Díaz., 1997) se procederá a la identificación y a la enumeración de las condiciones, características o evidencias que, individualmente o en conjunto, puedan haber ocasionado eventualmente puedan ocasionar- la corrosión del acero de refuerzo. Seguidamente deberá establecerse la magnitud y morfología del daño existente (o del daño potencial), así como la necesidad de un seguimiento en el tiempo y la urgencia de intervención, en una zona específica o en toda la estructura.

La interrelación de evidencias y evaluación de condiciones ambientales del hormigón, del acero y de la estructura como un todo puede ser variada y compleja. Cada caso debe ser analizado según los criterios y agravantes del contexto en que se presenta. Se deben considerar incluso los aspectos económicos y sociales que puedan influir en los criterios para definir la criticidad y urgencia de intervención.

Se deben establecer los puntos a revisarse nuevamente para clarificar el mecanismo de corrosión actuante y la severidad presentada, así como la potencialidad de otros tipos de corrosión. Es importante establecer el origen de los agentes agresivos y de los factores contribuyentes. De esta forma se podrá garantizar que la intervención a ejecutar en la obra sea la más adecuada para corregir los daños existentes, previniendo su extensión y reparación, tanto como la generación de nuevos daños.

1.5. Antecedentes de investigación.

Numerosas son las edificaciones a nivel mundial que presentan daños y deterioros, lo que reduce su vida útil, estética y funcionalidad. La conservación de las mismas juega un papel primordial en la economía de los países desarrollados o en vía de desarrollo. Este es un tema de carácter internacional que presenta un gran interés por parte de los gobiernos, empresas e instituciones en todos los países, esta constituye una compleja tarea por realizar, la cual requerirá de voluntad, perseverancia y participación de grupos multidisciplinarios de especialistas para enfrentar el reto.

La historia de la conservación comienza desde el momento mismo en que el hombre comenzó a valorar el patrimonio heredado, cuidando y apreciando las obras de sus ancestros. Los primeros indicios de esta acción en el mundo, datan de la lejana Mesopotamia, hace un poco más de 4000 años, cuando se redactó el Código de Hammurabi, el cual planteaba, que si ocurría algún fallo de la estructura, los constructores y familiares podían ser condenados a muerte.

Pero no es hasta el siglo XV que se le brinda real importancia la conservación cuando en 1421, José Álvarez Álvarez publica las primeras normas que debían cumplirse para la conservación de los monumentos y ruinas de Roma, obras de los pontífices renacentistas Martín V, que luego de restablecer la sede papal en Roma, ordena la conservación de sus monumentos.

Establece también criterios de conservación y protección de los monumentos romanos contra el expolio y libera el Panteón de las construcciones adosadas, Eugenio IV. En 1462 Enea Silvio Piccolomini se propuso “un cuidado vigilante”, con el objetivo de conservar las iglesias, basílicas y lugares santos de la ciudad para que las futuras generaciones conocieran y se identificaran con los edificios de la antigüedad y sus ruinas.

En cuanto a Legislación se refiere, el cuatrocientos también esgrime la defensa de la antigüedad romana, así tenemos como el Papa Pío II, promulga el 28 de abril de 1462 la Bula Papal “*Cum Almam Nostram Urbe*”, siendo éste uno de los primeros documentos que protegen y tutelan los monumentos de la antigüedad; estancándose, momentáneamente de esta manera, la destrucción de las edificaciones antiguas.

En 1517 León X nombra a Rafael Sanzio Comisario de la Antigüedad de Roma, nombramiento muy significativo por cierto para aquella época, tan necesitada de la salvaguarda de las edificaciones antiguas, sin embargo a pesar de dicho cargo las demoliciones de los monumentos continuaban en pleno avance y la consecuentemente pérdida de las piezas originales de la obra primigenia.

La importancia cultural y científica del arte antiguo resurge con el descubrimiento de las ruinas de Herculano y de Pompeya, ciudades destruidas en el año 79, por una erupción

del volcán Vesubio. La renovación de estos intereses hacia el mundo clásico hizo que los hombres dirigieran sus miradas hacia el pasado, dándole importancia al monumento como valor documentario, enfocándose la obra de arte a través de un ángulo visual más amplio, creándose, además, la necesidad de conservarlo. La ciudad de Roma, muy rica en monumentos clásicos, se encontró con una nueva ciencia, la ciencia de la restauración. De esta ciudad partieron los aires restauradores hacia los monumentos antiguos, nuevos horizontes y nuevos estudios se hicieron presentes ya en forma académica. Esta ciencia invadió todo el mundo civilizado, suscitándose en el siglo XIX dos corrientes bastante definidas, creándose un primer antagonismo: *Viollet Le Duc* (Francia, 1814-1879) – Ruskín (Inglaterra, 1810-1900); estas dos corrientes marcaron un hito de importancia durante este siglo.

A fines del siglo XIX surge, en Italia, una figura conciliatoria que investiga ambas corrientes, buscando el pro y el contra de cada una de ellas, este personaje conciliatorio es Camilo Boito (1836-1914). Sus consideraciones que fueron presentadas como moción, para precisar el concepto de la restauración, en el III Congreso del Ingeniero y del Arquitecto, celebrado en Roma- Italia en el año de 1883, siendo considerados en la “1º Carta del Restauo Italiana”, en ella se afirma que: “...los monumentos arquitectónicos del pasado no sólo valen para el estudio de la arquitectura, sino sirven como documentos esenciales para aclarar e ilustrar en toda sus partes la historia de varios tiempos y pueblos,...”. Los puntos básicos, presentados por Camilo Boito, fueron incluidos para la salvaguarda de dichos trabajos de restauración y de esa manera evitar, gracias a ellos, no inducir a errores, ni a engaños con respecto a la obra del pasado, considerada como una obra de arte y herencia para generaciones futuras. Esta “1º Carta del Restauo Italiana” marcó un hito en la historia de la restauración moderna, y ha servido de base para las conferencias y congresos que, sobre la materia, se dieron durante todo el siglo XX. Con estos puntos básicos, Camilo Boito, quiso resaltar la obra original de lo auténtico, y exigir una evidencia realizada.

Los años treinta estuvieron marcados por la preocupación en la Restauración, tal es el caso de la Carta de Atenas redactada en 1931 para la restauración de monumentos históricos, adoptada por el I Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos en

Monumentos Históricos. Es considerado un documento clave ya que contribuyó al desarrollo de un vasto movimiento internacional para la defensa y conservación de los bienes culturales.

En 1964 se aprobó la Carta de Venecia en la cual se abordaron temas más profundos y amplía su contenido con respecto a la Carta de Atenas de 1931. En la misma se enuncia claramente el concepto de centro histórico y la necesidad de su conservación. En 1965 se crea el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios Históricos (ICOMOS).

El 16 de noviembre de 1972 fue adoptada la Convención para la protección del Patrimonio Cultural y Natural del Mundo por la Conferencia General de la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco), la cual tiene como objetivo promover la identificación, protección y preservación del patrimonio cultural y natural de todo el mundo, siendo de gran importancia para la humanidad.

Posteriormente, son redactados nuevos documentos en Latinoamérica: el Coloquio de Quito, Ecuador y la Carta de Machu Picchu, Perú, ambas de 1977, la Declaratoria de Bogotá, Colombia (1978), la Declaración de México (1985), la Carta de Petrópolis, Brasil, (1987) y la Carta de Veracruz, México (1992). Fuera de la región, pero de gran importancia por sus planteamientos resultó la carta de Washington, EEUU (1987) en la que se definen los principios y objetivos, los métodos e instrumentos de actuaciones adecuados para conservar la calidad de las ciudades históricas, la misma constituía una carta complementaria a la Carta de Venecia de 1964.

A partir de la década del 90 se siguieron realizando documentos con el objetivo de conservar los centros históricos que se han convertido en paradigmas internacionales donde no van a basarse solo en el conocimiento teórico de los redactores, sino que comienzan a ser influenciados por las acciones concretas que se han venido realizando.

La Carta de Cracovia realizada en el 2000 constituye un ejemplo, donde se define algunos aspectos entre los que se destaca la conservación como un término que engloba a las intervenciones, se define el proyecto de restauración como vía para la conservación y plantea que la intervención debe respetar la función original y tener en cuenta la

compatibilización con los materiales. En el año 2003 en la Asamblea General de ICOMOS en su 14ª Reunión celebrada en Victoria de Falls, Zimbabue se redacta el documento Principios para el análisis, conservación y restauración de las estructuras del patrimonio arquitectónico. En él se habla por primera vez de los estudios de diagnóstico, se plantea un plan integral de actuación en proporción a los problemas reales de las estructuras y cada intervención que se proponga debe respetar los valores culturales de la estructura, ser totalmente reconocible y responder al plan integral de actuación.

La Carta Caral es un documento reciente realizado en noviembre del 2015 con el objetivo de sensibilizar a las personas del mundo sobre el cuidado de las edificaciones históricas. Caral es la ciudad más antigua de América, ubicada en Perú. La misma impresiona porque tuvo una cultura sostenible, con compromisos ambientales, con visión cósmica, una cultura donde hubo planificación y planeamiento. Esta carta llevará un mensaje al mundo sobre la nueva visión y cambio de paradigma relacionado al avance tecnológico de los últimos treinta años, al mismo tiempo realza la necesidad de los compromisos ambientales por el cambio climático, para lo cual se propone crear una Organización Internacional de Planeamientos cuya función será cautelar a nivel mundial el desarrollo sostenible de las ciudades y velar por los compromisos internacionales y los acuerdos.

La conservación del patrimonio cubano, como preocupación realmente institucional, surgió después de 1960, posterior al triunfo revolucionario, a partir de acciones de personalidades amantes de la cultura pues en las etapas anteriores las realizadas fueron muy aisladas. Las pocas intervenciones que se llevaron a cabo estuvieron dirigidas a los monumentos, plazas y edificios puntualmente significativos, aun cuando existían leyes dirigidas a la protección patrimonial. En la Constitución de la República de Cuba, de 1940, en su artículo 58 se recogía lo siguiente: “el Estado regulará por medio de la conservación del tesoro cultural de la Nación, su riqueza artística e histórica, así como también protegerá especialmente los monumentos nacionales y lugares notables por su belleza natural o por su reconocido valor artístico o histórico”.

Anterior a los años sesenta, se realizaron algunas actividades encaminadas a la conservación del patrimonio arquitectónico y urbano, tal es el caso de la Plaza de Armas en 1926, la Plaza de la Catedral en 1936, el edificio de la Catedral en 1950 y el Castillo de la Fuerza en 1960.

Muchas son las construcciones a todo lo largo del país que aun con el paso del tiempo producto a las actividades de conservación se mantienen. Un ejemplo es La Villa de Nuestra Señora de la Asunción de Baracoa, capital arqueológica de Cuba, donde a pesar del paso de los años se encuentran intactas, numerosas edificaciones engrandecidas con piedra de cantería, como las fortalezas coloniales de El Castillo y La Punta, Los Torreones de Joa, y el Cementerio. (Figuerola, 2017; Lazo, 2016; Suárez, 2016)

CAPÍTULO 2 TÉCNICAS DE ENSAYOS Y EQUIPAMIENTO UTILIZADO EN LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES Y DAÑOS EN LA ESTRUCTURA.

La presente investigación se basa en la combinación de variadas técnicas visuales e instrumentales de carácter no destructivo y destructivo, que permiten la obtención de datos in situ, los cuales se complementan con otros que se recolectan a partir de la realización ensayos de laboratorio.

La información que se obtiene en las etapas de inspección en obra, los resultados de los ensayos y los diferentes análisis que se realizan como parte de la investigación se resumen en planos y documentos que sirven de base para la formulación de hipótesis y para el posterior análisis estructural.

La siguiente imagen muestra el esquema metodológico aplicado en la investigación:



Figura. 2.1 Esquema Metodológico. (Fuente: elaboración del autor)

2.1. Antecedentes y Tipología Constructiva.

Se hace imprescindible la búsqueda y recopilación de antecedentes al comienzo de la investigación pues, las variables históricas, culturales, sociales constituyen un aspecto de peso en la toma de decisiones técnicas.

El conocimiento de los sistemas constructivos y estructurales que se emplean en la obra en cuestión inicia un proceso de estudio de documentos históricos y técnicos de la época, lo que genera un proceso de investigación amplio desde lo general a lo particular, que permite trazar las estrategias para la siguiente etapa.

2.2. Levantamiento de Estructura.

Esta etapa constituye una de las fases más importantes dentro del estudio de diagnóstico pues, permite definir la geometría y características reales de los elementos soportantes, y acercarse al entendimiento de su comportamiento estructural.

En la definición de las características y los tipos de elementos se aplican las técnicas de observación y asociación, en conjunto con acciones destructivas sobre los elementos estructurales seleccionados de manera alterna en las distintas posiciones y zonas de trabajo definidas por el investigador.

El procedimiento consiste en la agrupación por tipos de elementos de acuerdo a sus características geométricas, a lo que se le añade un posterior análisis de su ubicación, de esta manera se analizan todas las secciones de los elementos estudiados.

La exposición de las uniones viga-viga, viga-columna y columna-columna permite la confirmación de los tipos de vigas según su ubicación.

La información que se obtiene como resultado de esta etapa permite describir con gran nivel de precisión la estructura de la edificación, además, genera una serie de planos de levantamiento de estructura por cada nivel.

2.3. Levantamiento Patológico.

El levantamiento de deterioros y daños permite ubicar, clasificar y cuantificar las principales manifestaciones patológicas presentes en la estructura y aproximarse a sus posibles causas. En esta etapa se aplican técnicas visuales en conjunto con otras instrumentales que incluyen el empleo de la fotografía exhaustiva y la medición de las lesiones detectadas (grietas y fisuras, pérdida de sección de los elementos, entre otras).

Se realiza un análisis detallado de las patologías detectadas y se confeccionan los planos que resumen la información recopilada. Además se clasifican de acuerdo a dos variables, el grado de afectación y su origen.

En función del grado de afectación de la estructura se asumieron las siguientes categorías en dependencia de su intensidad:

- **Daños leves.** Cuando no tiene peligrosidad y solo se trata de una afectación en su comienzo, que de una reparación simple se soluciona o es un defecto que tiene efectos negativos desde el punto de vista visual y que no pierde su valor de uso.
- **Daños medios.** Se le debe prestar atención y debe repararse, porque más adelante puede agravarse.
- **Daños graves.** Patologías que pueden permanecer un corto periodo de tiempo sin que se produzca la rotura total, pero debe repararse con cierta urgencia o que están en fallo.

De acuerdo a su origen las lesiones se clasifican en:

- **Patologías estructurales:** Son aquellas que están directamente relacionadas con el comportamiento de la estructura y se manifiestan en forma de grietas, fisuras, deformaciones excesivas, etc. Generalmente tienen gran incidencia en la seguridad estructural. Estas lesiones se consideran daños graves.
- **Patologías no estructurales:** Son aquellas que no tienen relación alguna con el comportamiento estructural y se manifiestan en forma de filtraciones, humedades, crecimiento de vegetación, tupiciones y colapso de las instalaciones sanitarias, la acción del hombre, etc.
- **Patologías de los materiales:** Son aquellas relacionadas fundamentalmente con la degradación del comportamiento de los materiales con el tiempo y se relacionan con los procesos de corrosión del acero, ya sea en estructuras metálicas o en las armaduras de refuerzo del hormigón.

2.4. Caracterización de los Materiales.

Esta etapa tiene como objetivo principal determinar las propiedades físico-mecánicas reales de los materiales mediante la realización de ensayos destructivos y no destructivos en las zonas de estudio definidas por el investigador, de manera tal que dichos ensayos sean representativos, de acuerdo a las características, estado de deterioro y ubicación dentro de cada nivel

En función de este objetivo se realizan un conjunto de ensayos físicos, químicos y electroquímicos, los cuales son:

- **Ensayos Físicos.**
 - Velocidad de la onda ultrasónica.
 - Porosidad efectiva del hormigón.
 - Detección y distribución de acero (Recubrimientos).
- **Ensayos Mecánicos.**
 - Resistencia a compresión del hormigón.
- **Ensayos Electroquímicos.**
 - Resistividad del hormigón.
 - Potenciales de corrosión

Todos los ensayos (destructivos, no destructivos y de laboratorio) se realizan de acuerdo a los procedimientos establecidos en la normativa vigente en el país.

A partir de los resultados de los diferentes ensayos se realiza un análisis detallado y se comparan los parámetros obtenidos con lo establecido en las Normas Cubanas y otros documentos de referencia como la RED DURAR. En el caso que se requiera el empleo de

otras fuentes bibliográficas o documentos regulatorios adicionales, será debidamente especificado. (Díaz., 1997)

2.4.1. Velocidad de la onda ultrasónica.

- Procedimiento de ensayo(2013)

La medición de la velocidad de la onda ultrasónica es un ensayo no destructivo que permite de manera rápida y sin dañar la estructura, verificar la homogeneidad del hormigón, detectar fallas internas y monitorear las variaciones de sus propiedades en el tiempo, debido a la agresividad del medio.

Además, este ensayo permite obtener valores orientativos de la calidad y la resistencia a compresión del hormigón. Los ensayos se realizan según lo especificado en la NC ISO 1920-7-2013.

Este método de auscultación del hormigón se basa en la medición de la velocidad con que atraviesa una masa de hormigón, un tren de vibraciones mecánicas amortiguadas, con una frecuencia de vibración superior a la audible (20.000 ciclos/segundos).

El aparato que se emplea para el ensayo está provisto de dos cabezales, llamados transductores, que se aplican sobre las superficies que limitan la masa a atravesar por las ondas. Los pulsos ultrasónicos son generados en uno de los cabezales, por la vibración de un cristal piezoeléctrico y captados por el otro transductor.

La colocación de los transductores depende de la accesibilidad de la superficie del hormigón a investigar y solo pueden ubicarse en tres formas posibles:

- a. cuando los transductores se colocan en cara opuestas (transmisión directa, figura 2.2)
- b. cuando los transductores se colocan caras adyacentes (transmisión semi directa, figura 2.3)
- c. cuando los transductores se colocan en la misma cara (indirecta o superficial, figura 2.4)

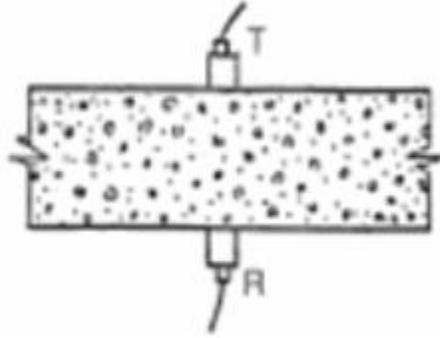


Figura. 2.2 Transmisión directa. (Fuente:(2013))

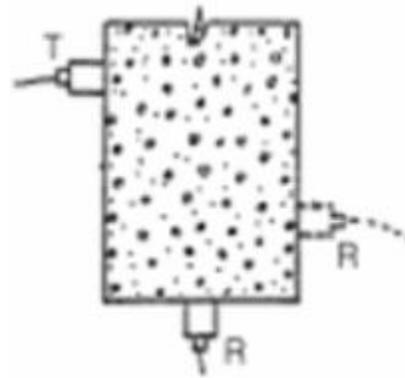


Figura. 2.3 Transmisión semi directa. (Fuente:(2013))

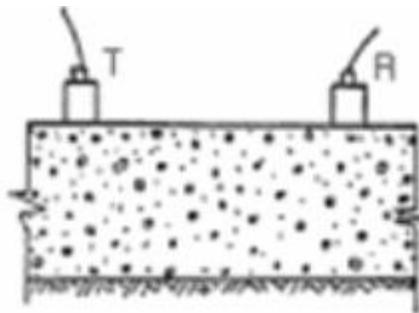


Figura. 2.4 Transmisión indirecta o superficial. (Fuente:(2013))

La disposición de la transmisión indirecta es menos sensible y se utiliza solo cuando solo una superficie del hormigón es accesible, o cuando es la única superficie con características idóneas para el ensayo.

La transmisión semi directa presenta una sensibilidad intermedia entre las dos restantes disposiciones y solo debe utilizarse cuando no se pueda emplear la disposición directa.

Tabla 2.1. Criterios de evaluación según el ultrasonido. (Fuente: (Díaz., 1997))

<i>VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN (m/s)</i>	<i>CALIDAD DEL HORMIGÓN</i>
<2000	Deficiente
2001-3000	Normal
3001-4000	Alta
>4000	Durable

2.4.2. Porosidad efectiva del hormigón.

El objetivo del ensayo es determinar la absorción capilar y la porosidad del hormigón como medida de su compacidad. Como porosidad del hormigón, se consideran los espacios vacíos que quedan en la masa de hormigones y morteros producto de la evaporación del agua excedente del amasado o los formados por el aire atrapado durante los procesos de manipulación, vertido y compactación.

Los factores determinantes en la cantidad y tipos de poros son la cantidad de pasta y la relación - agua cemento, es por ello que mientras menor sea la relación agua - cemento menor será la permeabilidad.

- Procedimiento de ensayo(2011)

Se toma una probeta cilíndrica de 150 mm x 300 mm (que haya sido curada como mínimo 28 días) o un testigo de hormigón de un elemento constructivo de una edificación (extraído de acuerdo al interés del cliente), este es aserrado como una lámina delgada de hormigón o mortero de 25 mm \pm 0,5 mm de espesor tomada del centro de la probeta o del testigo y siempre garantizando que exista paralelismo en sus caras, preacondicionada a equilibrio de humedad constante. Este equilibrio se logra con un secado a 60°C por aproximadamente 48 horas (hasta peso constante y posterior enfriamiento en un desecador). La superficie de succión de la muestra será la parte aserrada, esta debe estar libre de carbonatación y otras impurezas. Se recomienda cubrir previamente las áreas laterales curvas del espécimen con resina epoxi o parafina. Las probetas ya

preacondicionadas se colocan sobre los extremos de unos cintillos de madera, plásticos finos o de cualquier otro material (como se muestra en la Figura 1), dentro de un recipiente estanco que contenga una altura de agua por encima de los cintillos de aproximadamente 5 mm. Para mantener el nivel del agua en el recipiente se llena una probeta de agua y se coloca en posición invertida a 5 mm, de manera tal que la misma quede introducida en el agua, tal como se muestra en la Figura 1. Para la realización de este ensayo se empleará agua potable.

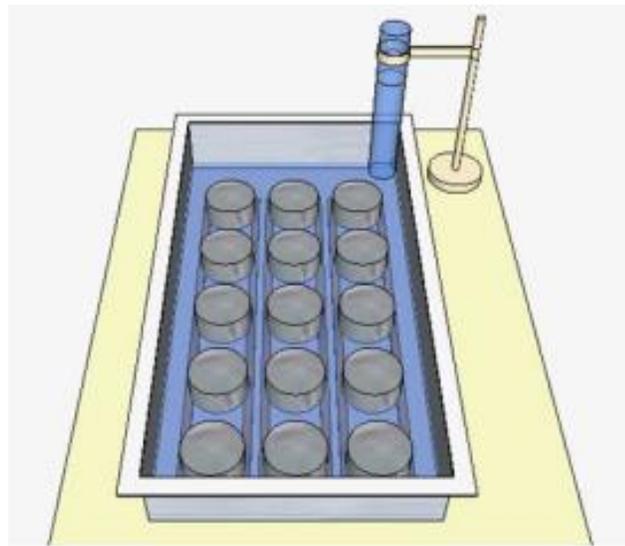


Figura. 2.5 Esquema de bandejas con el ensayo de absorción y la probeta invertida para garantizar una altura constante de agua en la bandeja. (Fuente:(2011))

Las probetas son pesadas antes de ser colocadas en el agua y se volverán a pesar a las edades de (1/12; 1/6; 1/4; 1/2; 1; 2; 3; 4; 6; 24; 48; 72; 96) horas contadas a partir de que comienza el ensayo o su contacto con el agua, estas pesadas se realizan cada 24 horas a partir de las 96 horas hasta que el peso de las mismas sea aproximadamente constante o que el agua ascienda por la capilaridad de la probeta hasta su superficie. Antes de cada pesada se debe secar con un paño (húmedo, limpio, libre de grasas y suciedades) el agua superficial. Este ensayo se debe realizar a temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $65\% \pm 5\%$.

Con los pesos obtenidos a las diferentes edades indicadas se grafica el peso en kilogramos contra la raíz cuadrada del tiempo y se obtiene una curva similar a la Figura

2, si el eje del tiempo está en escala de raíz cuadrada, el punto crítico entre los estados 1 y 2 corresponde al punto cuando el frente de agua ha avanzado hasta alcanzar la parte superior y se considere el valor final de los resultados. Por lo que el estado 1 corresponde al llenado de agua de todos los poros de gel inicialmente vacíos y los otros poros capilares mientras que el estado 2 corresponde al llenado gradual de los poros inertes o vacíos de aire por un proceso de disolución difusión de aire. Solo interesa el estado 1, pues el estado 2 es de interés en relación a la resistencia a la congelación. Teóricamente si el espécimen actuó como un poro capilar simple, el paso del estado 1 al 2 deberá ser abrupto, pero en realidad es una transición suavizada. La razón es que los materiales heterogéneos (en este caso el hormigón) tienen una distribución de tamaño de poros diferentes que conducen a diferentes porcentajes de penetración por diferentes caminos. Por lo anterior se definirá el Punto Crítico como la Intersección de dos líneas extrapolares.

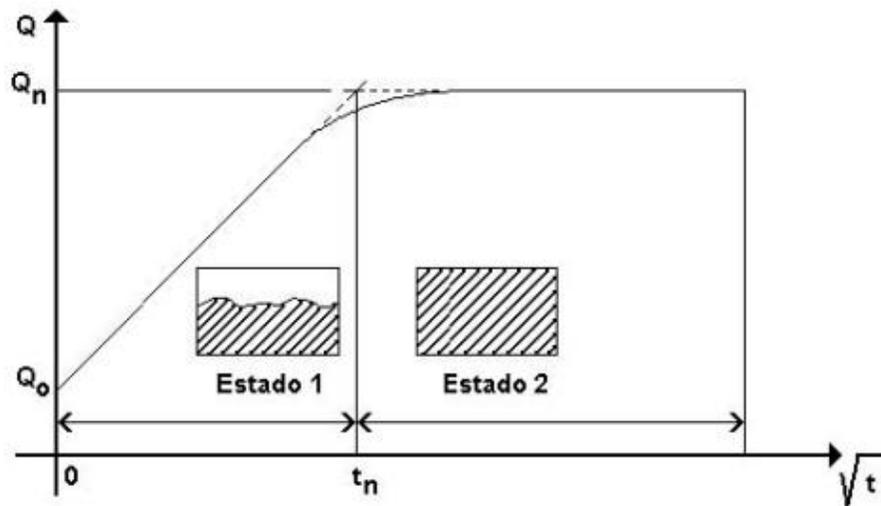


Figura. 2.6 Curva típica de absorción de agua obtenida por el ensayo de capilaridad.
(Fuente:(2011)).

- Porosidad efectiva

La porosidad efectiva del hormigón ζ se determina como:

$$\varepsilon = \frac{Q_n - Q_0}{A * h * 1000} (\%) \quad (2.1)$$

Donde:

h: altura o espesor total del espécimen (m2)

Q₀: peso del espécimen al inicio (kg)

Q_n: peso del espécimen en el punto crítico (kg)

A: área de succión del espécimen (m2).

Para la clasificación de los resultados obtenidos se consulta la NC 120: 2014, documento que expone los valores máximos según el nivel de agresividad, que para nuestro caso se encuentra en la categoría de agresividad muy alta.

Tabla 2.2. Rango de valores para evaluar la porosidad. (Valores tomados de NC 120: 2014) (Fuente:(2014))

<i>Elemento estructural</i>	<i>Categoría de agresividad</i>			
	<i>Muy alta</i>	<i>Alta</i>	<i>Media</i>	<i>Baja</i>
Hormigón armado	10	10	15	15

No obstante también se tuvo en cuenta la evaluación dada en la RED DURAR para este ensayo y que no entra en contradicción con la NC 120: 2014, la cual plantea:

Tabla 2.3. Rango de valores para evaluar la porosidad según la RED DURAR. (Fuente:(Díaz., 1997))

<i>Porosidad (%)</i>	<i>Calidad del hormigón</i>
< 10	Buena calidad y compacidad
10 a 15	Moderada Calidad
>15	Durabilidad inadecuada

2.4.3. Detección y distribución de acero (Recubrimientos).

Este trabajo consiste en definir la ubicación de la armadura de refuerzo especificando su cuantía, espaciamiento, posición y recubrimiento. Esta actividad fue realizada mediante el uso del *Rebarscope James Instruments*, el cual permite realizar la localización con un

grado de precisión fiable y además ofrece valores aproximados del diámetro y la profundidad del recubrimiento.

Se considera que la distancia entre la superficie exterior de la armadura más externa (incluyendo cercos y estribos) y la superficie exterior del hormigón más cercana es el valor del recubrimiento. Este parámetro de no cumplir con la normativa contribuye a disminuir la vida útil de la estructura al permitir una penetración más rápida de los agentes agresivos del medio ambiente, fundamentalmente de los iones cloruros, el dióxido de carbono, la humedad y el oxígeno.

Tabla 2.4 Valores mínimos de recubrimientos por elementos estructurales en cm, según NC 250:2005. (Fuente: (2005))

<i>Elemento estructural</i>	<i>Categoría de agresividad</i>			
	<i>Muy alta</i>	<i>Alta</i>	<i>Media</i>	<i>Baja</i>
Columnas (“in situ”)	5.0	4.0	4.0	3.0
Vigas (“in situ”)	5.0	4.0	4.0	3.0
Losas (“in situ”)	4.0	3.5	3.0	2.5

2.4.4. Resistencia a compresión del hormigón.

La resistencia a la compresión del hormigón es una de las propiedades más importantes y necesarias para establecer una evaluación general de la estructura, tanto desde el punto de vista de durabilidad, como de la capacidad de resistencia mecánica. Este parámetro se determina a partir de la extracción y rotura a compresión de testigos cilíndricos, los cuales se extraen en las zonas donde existan condiciones de acceso con seguridad para los equipos y el personal, tratando de causar el menor daño a la capacidad portante de los elementos.

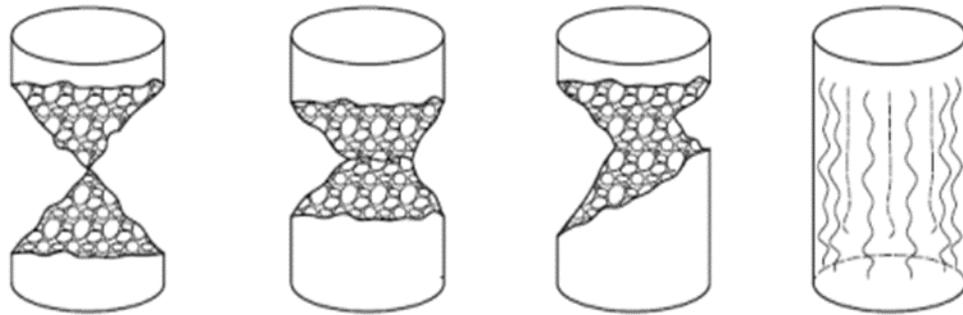
Según lo establecido en (2015), los testigos de hormigón deben cumplir el principio de que el diámetro del cilindro debe ser al menos 3 veces mayor que el tamaño máximo del árido empleado en la elaboración del hormigón y en ningún caso debe ser inferior a dos veces el tamaño nominal del árido grueso; la relación entre la altura (h) y el diámetro (\emptyset)

del testigo debería ser $h/\varnothing = 2$ y deseable que nunca sea $h/\varnothing < 1$ y no deben tener fisuras , vacíos o fallos de hormigonado, así como no contener aceros dentro del cuerpo del cilindro.

Al llegar los testigos al laboratorio ante de someterlos a las cargas se cortan con disco de corte los topos de los testigos de forma de obtener una superficie perfectamente plana y ortogonal a la generatriz del cilindro. Eso puede, excepcionalmente, ser obtenido con un fuerte desbaste por lija de la superficie. Luego, éstos deben ser refrentados. Luego se procederá a aplicar la carga que no deberá tener saltos bruscos y se incrementará continuamente a una velocidad constante hasta que no pueda ser sostenida una carga mayor.

Si la rotura es satisfactoria (Ver Figura 2.7), se registrará. Si la rotura es insatisfactoria, el tipo de rotura se registra usando el número del modelo o patrón que más se aproxime a la realidad según los indicados en la Figura 2.8.

Figura. 2.7 Rotura Satisfactoria de las probetas cilíndricas. (Fuente:(2015))



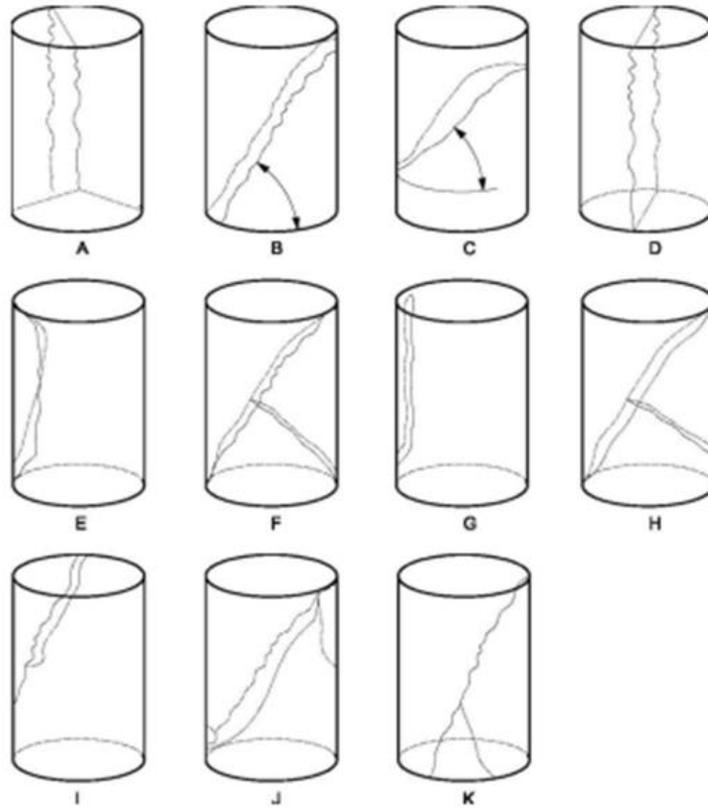


Figura. 2.8 Algunas roturas insatisfactorias de las probetas cilíndricas. (Fuente:(2015))

La Resistencia a Compresión se da por la ecuación:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (2.2)$$

Donde:

f_c : Resistencia a compresión expresada en (MPa)

F: Carga Máxima, expresada en (N)

A_c : Área de la sección transversal de la probeta sobre la cual actúa la fuerza a compresión, expresada en (mm^2).

Si las dimensiones reales de la probeta de ensayo están dentro del $\pm 0,5 \%$ del tamaño nominal, la resistencia puede calcularse en base al tamaño nominal. Si las dimensiones

reales están fuera de esta tolerancia, el cálculo de la resistencia estará basado en las dimensiones reales de la probeta de ensayo.

NOTA: Siempre que sea posible las muestras deben tener una longitud tal que garanticen para el ensayo, una relación longitud/diámetro igual a $2,0 \pm 5 \%$. En caso de no poderse cumplir esta condición, para los testigos perforados que se extraigan de las estructuras, se admitirán muestras testigos de longitud media mínima igual al diámetro medio, aplicando a los resultados de ensayos de resistencia a compresión los coeficientes de corrección indicados de acuerdo con el Anexo C de esta norma(NC 724- 2015).

Tabla 2.5 Factores de corrección NC 724- 2015(Fuente:(2015))

<i>Relación entre la longitud y el diámetro (hm/dm)</i>	<i>Coefficiente de Corrección (CC)</i>
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.10	0.90
1.00	0.87

NOTA: Los factores de corrección que no aparezcan en esta Tabla se determinan por interpolación.

El valor de la resistencia mecánica, por sí solo, no es indicativo de la durabilidad del hormigón, ya que dependerá de varios factores entre los cuales se puede mencionar: la relación a/c, la dosificación, el tipo de cemento, el espesor de recubrimiento de la armadura, etc. Sin embargo, en general se acepta que hormigones de elevada resistencia (>45 MPa) son durables y que hormigones por debajo de 20 MPa son de baja durabilidad.

2.4.5. Resistividad del hormigón.

La conductividad eléctrica del concreto es un proceso electrolítico que sucede a causa del movimiento de iones dentro de la matriz de cemento. Este movimiento iónico ocurre cuando hay contaminantes, por ejemplo, iones de cloruro o dióxido de carbono, que se introducen en la matriz de la pasta cemento.

Un concreto muy permeable tiene una alta conductividad y una baja resistencia eléctrica. Puesto que la resistividad está en proporción con la circulación de corriente, la medición de resistencia eléctrica en el concreto proveerá pues una medida de la posible velocidad de corrosión. Puesto que la carbonatación afecta seriamente la resistencia de la superficie, las mediciones en la superficie del concreto deben evitarse.

En el caso de esta obra las mediciones de resistividad del hormigón se realizaron con el medidor de resistividad de James, El *OhmCorr* RM-8000 (figura 2.9), que evalúa las dañinas corrientes de corrosión en el concreto, es económico y de fácil manejo, permite la lectura numérica directa de resistividad, las medidas sacadas desde dos agujeros pequeños evitan los problemas y errores de medidas superficiales. (2018)



Figura 2.9 Medidor de resistividad OhmCorr RM-8000 de James.(Fuente:(2018))

El medidor de resistividad *OhmCorr*, tiene dos sondas que se separan por 5 cm (1.97”) y que se colocan en dos agujeros taladrados a una profundidad de 8mm (3/8”) y que se llenan con gel conductor. La resistividad del concreto se muestra por la presentación visual cuando se activa el conmutador de control.

No existe un acuerdo de carácter general entre los diferentes investigadores acerca del nivel límite de resistividad eléctrica por encima del cual el riesgo de corrosión de las armaduras puede ser considerado despreciable, aunque en la RED DURAR se plantea una variante para determinar el nivel de riesgo por el cual se trabaja.

Tabla 2.6 Criterios de evaluación del riesgo de corrosión según la resistividad eléctrica del hormigón. (Fuente:(Díaz., 1997))

<i>Resistividad eléctrica (r) (kΩ.cm)</i>	<i>Riesgo de corrosión</i>
$r > 200$	Poco riesgo (Bajo)
$200 > r > 10$	Riesgo Moderado (Moderado a alto)
$r < 10$	Alto riesgo (Alto)

Debe tenerse en cuenta que la resistividad es sólo uno de los parámetros que controla la velocidad de corrosión del acero de refuerzo en el hormigón, por lo tanto no podrá considerarse como único criterio para definir o prever un posible daño sobre la estructura.

2.4.6. Potenciales de corrosión del acero.

Los potenciales de corrosión permiten conocer la probabilidad de corrosión de una armadura de refuerzo dentro del hormigón. El riesgo de corrosión está estrechamente ligado a las condiciones de humedad, contaminación y a la calidad del hormigón. Al igual que en el ensayo de resistividad, el criterio de selección de las zonas de estudio, se basó en intentar caracterizar las áreas que aparentemente se encuentran en buen estado, pues las zonas dañadas por la corrosión de igual manera aparecen representadas en los levantamientos patológicos y su estado es evidente.

- Procedimiento de ensayo.(Díaz., 1997)
 - Seleccionada la superficie a evaluar debe tenerse libre acceso a una sección de la armadura de refuerzo del hormigón. En caso de no existir, deberá perforarse la estructura hasta descubrir el acero de refuerzo, una vez localizado. Deberá haber garantía de continuidad eléctrica del acero al momento de efectuar las mediciones.
 - Limpiar la superficie seleccionada, limpiar la superficie del acero expuesto para la conexión.
 - Localizada la distribución del acero de refuerzo, trazar sobre la superficie del hormigón unas cuadrículas múltiples con espaciamiento entre nodos uniformes. El espaciamiento seleccionado dependerá de la rigurosidad de la inspección y de la ubicación del refuerzo.
 - Efectuar la conexión del electrodo de referencia (Ej.: Cu/CuSO₄), al positivo del voltímetro. El acero de refuerzo se conecta al negativo del voltímetro, como se indica en la Figura 2.10.

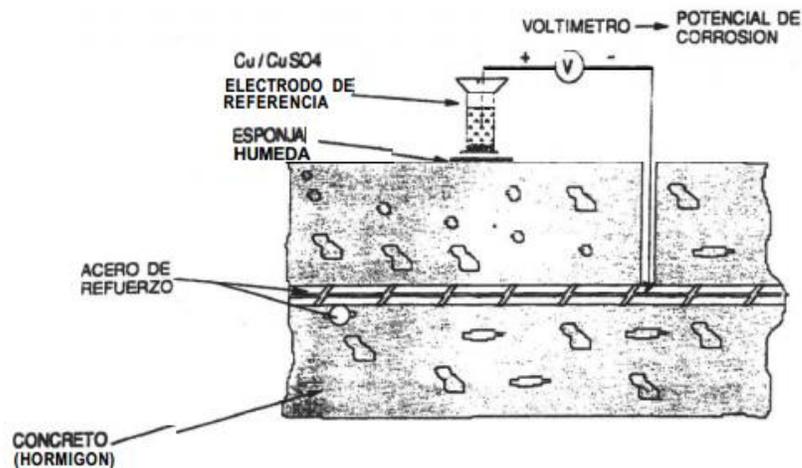


Figura. 2.10 Medición de potenciales de la armadura. (Fuente:(Díaz., 1997))

Tabla 2.7 Criterios de evaluación del riesgo de corrosión según los potenciales de corrosión. (Fuente: (Díaz., 1997))

Potencial de corrosión (mV)	Riesgo de corrosión
0.200 – -0.150	Bajo
-0.150 – -0.400	Moderado a alto
-0.400 – -0.600	Alto

2.5. Softwares utilizados.

Para el desarrollo del análisis de los resultados se utilizó el *Software Surfer* Versión 13.0.383 (2015) y además se recurrió al *software Autodesk AutoCAD Architecture 2018*.

2.5.1. *Surfer 13*.

Este es un paquete multifunción para visualización de contornos entornos 3D, y modelado de superficies que funciona bajo *Microsoft Windows*. *Surfer* se usa masivamente para modelado terrestre, modelado "*bathymetric*", visualización paisajística, análisis de superficies, mapeado de contornos, mapeado de lagos y entornos 3D, volúmenes, etc.

El sofisticado motor de interpolación de *Surfer* transforma sus datos XYZ en mapas de calidad para poder publicarlos. *Surfer* más métodos de cuadrículado y más control sobre los parámetros de coordenadas, incluyendo más variogramas personalizados que cualquier otro *software* del mercado. Usted también puede usar cuadrículas de fuentes externas, tales como ficheros USGS DEM o ficheros ESRI. Mostrar su sistema como contorno, superficie 3D, vectores, cuencas fluviales, vallados en 3D, sombreados y mapas altamente detallados, límites, etc.

Añada mapas base para poder mostrar límites, iconos, etc., y postee los mapas para buscar *waypoints*, y combine distintos tipos de mapas, para poder mostrar la mayor cantidad de información posible. Virtualmente, todos los aspectos de sus mapas pueden personalizarse para producir la presentación deseada. Nunca antes había sido tan fácil la generación y publicación de mapas de calidad.

La herramienta de *Surfer contour maps* le dará el control total sobre todos los parámetros del mapa. Usando la configuración por defecto de *Surfer*, podrá crear automáticamente mapas de contorno, o hacer doble *click* en el mapa, para fácilmente personalizar las características del mismo.(2018)

El *Surfer 13* se utilizó para crear un mapa de isolíneas q permitió entender de manera espacial la caracterización de materiales de acuerdo a los ensayos realizados.

2.5.2. AutoCAD 2018.

AutoCAD es un *software* de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Este es reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D; es uno de los programas más usados por arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales y otros.

Además de acceder a comandos desde la solicitud de comando y las interfaces de menús, *AutoCAD* proporciona interfaces de programación de aplicaciones (API) que se pueden utilizar para determinar los dibujos y las bases de datos.

Este *software* se utilizó para señalar de manera exacta la localización y magnitud de las patologías así como la representación de las características geométricas que comprenden la estructura.(Ferrer, 2018)

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS, MEDICIONES Y LEVANTAMIENTOS.

3.1. Antecedentes y Tipología Constructiva.

El establecimiento a partir de 1584 de la Real Aduana de La Habana es el resultado lógico de ese intenso uso del puerto. Como la mayoría de las instalaciones portuarias desde la colonia, la explotación de esta zona se hacía a través de concesiones que el gobierno otorgaba. Fue una concesión administrativa de obras públicas la que otorgó el Presidente Tomás Estrada Palma a la Compañía del Puerto por decreto número 467 de fecha 29 de noviembre de 1905, y que dio origen al edificio de la Aduana de La Habana y los muelles espigones San Francisco, La Machina y Santa Clara.

La obra fue proyectada por la firma norteamericana *Barclay Parsons & Klapp* (Firma de Ingeniería norteamericana constituida en 1909) para la concesionaria *Port of Havana Docks Company* (Sociedad Anónima organizada bajo las leyes del Estado de Maine, la cual compró en 1911 a la original concesionaria, la Compañía del Puerto, la concesión de los muelles espigones para el Puerto de La Habana). La obra, concluida en 1914, es un conjunto de tres espigones de hormigón reforzados sobre pilotajes de dos pisos cada uno y conectados a un edificio de entre tres y cuatro plantas, llamado también Edificio Marginal.

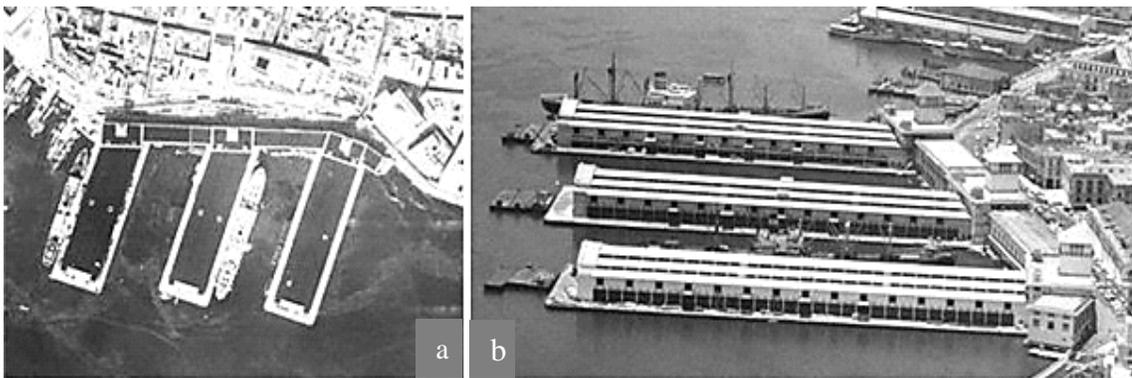


Figura 3.1 Fotos aéreas de los tres espigones y el edificio de la Aduana. a: vertical y b: perspectiva. (Fuente:(Lazo, 2018))

La misma responde a la tipología de los *docks* ingleses, que hacían confluír espigón y almacenes en una misma fábrica, como alternativa para reducir costos, tiempo de transformación y agilidad en el negocio. En su momento se consideró a la altura de las mejores del mundo, debido al excelente equipamiento con que fue dotada.

Al finalizar la década de 1940 el conjunto disfrutaba de favorables condiciones constructivas en todos sus espacios e inmejorables facilidades de explotación. Con la remodelación de la calle San Pedro y el desmontaje de los elevados del tranvía (1952), se cerraron parcialmente los vanos de la planta baja del Edificio Marginal; fenómeno que continuó durante toda esa década.

Aún en los años 50, los espigones estaban considerados entre los mejores de América. Las instalaciones se destinaban a prestar servicios de Muelles y Almacenes de Depósito, manipulación de mercancías de importación y exportación, almacenes afianzados y depósito provisional de carga mientras la misma era aforada por los Vistas de Aduanas.

La planta alta de cada espigón se dedicaba a almacenaje, y en la primera sección de cada una de ellas se encontraba el denominado Almacén de Tejidos –lugar destinado al depósito, despacho y manipulación de bultos de tejidos y otros artículos valiosos-; en los que se tenía especial cuidado en no dañar en lo más mínimo la mercancía almacenada. (Lazo, 2018)

En la actualidad y producto al cambio continuo de propietarios y el abandono que sufre la instalación, a excepción del espigón San Francisco rehabilitado en el año 1996 según proyecto realizado por el arquitecto italiano Alessandro Mensa, el edificio se encuentra en condiciones poco favorables. (Lazo, 2018)

3.2. Levantamiento estructural.

El espigón La Machina está formado por una nave de dos niveles, una faja de borde longitudinal (andén) con doble vía de ferrocarril y otra en la cabeza del muelle (plataforma), ambas con dimensiones de 9,15 m de ancho, para facilitar las operaciones de carga y descarga directa del barco a otros medios para su distribución, lo que resulta un área útil de 8000 m² aproximadamente. Como elementos estructurales principales, la

edificación está compuesta de columnas y vigas, losa de entrepiso y muros, este último se presenta solo en ambas fachadas en el segundo nivel. El sistema de pórticos utiliza simetría en la disposición de los espacios interiores y de los elementos estructurales.

En la Figura 3.2 se muestran las dimensiones y convenio de ejes de la edificación en estudio. Nótese que el espigón cuenta con 26 pórticos de 5 luces cada uno y otros 2 que se desarrollan fundamentalmente en el eje F, formando una cuña hacia el eje A. Cada luz del pórtico tiene 9.15 m, para una dimensión total 45.75 m, por 15.64 m en su punto más alto. Los intercolumnios tienen una dimensión de 6.10 m, para un total de 158.30 m en el eje A y 172.00 m en el eje F.

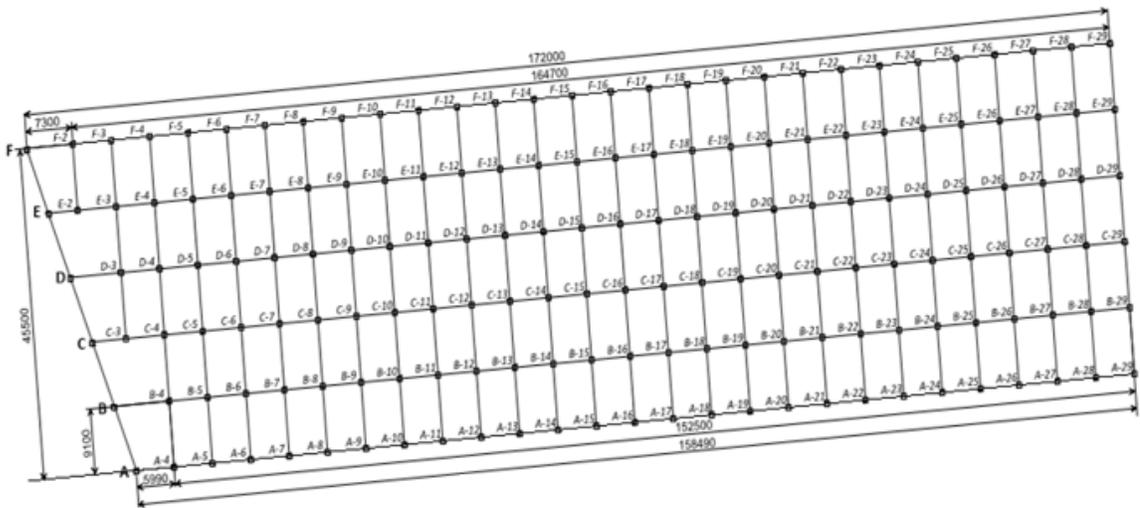


Figura 3.2 Espigón La Machina. Vista en planta. (Fuente: Planos de levantamiento estructural)

Las fachadas laterales se muestran en la figura 3.3; la cara norte (figura 3.3a) abierta en el primer nivel, sin muros o puertas, desde el eje 7 hasta el 29 (del eje 1 al 7 de este nivel no había sido liberada por el propietario) y el segundo nivel con muros y vanos en las pasarelas de carga y descarga. La cara sur (figura 3.3b) abierta completamente en el primer nivel y el segundo idéntico a la cara norte.



Figura 3.3 Aspecto actual de las fachadas. a: lateral norte y b: lateral sur. (Fuente: elaboración del autor)

El sistema de pórticos está formado por columnas y vigas principales. En el primer nivel, figuras 3.4 y 3.5, a estos tributan de forma perpendicular veintiuna vigas secundarias, mientras que en el segundo tributan solo quince, de ellas cinco secundarias en la posición central de las luces de cada pórtico y diez de arriostre que coinciden con la posición de las columnas figuras 3.4 y 3.6. La cubierta original de los espigones correspondía al escalonamiento generado por los desniveles de cada luz del pórtico.

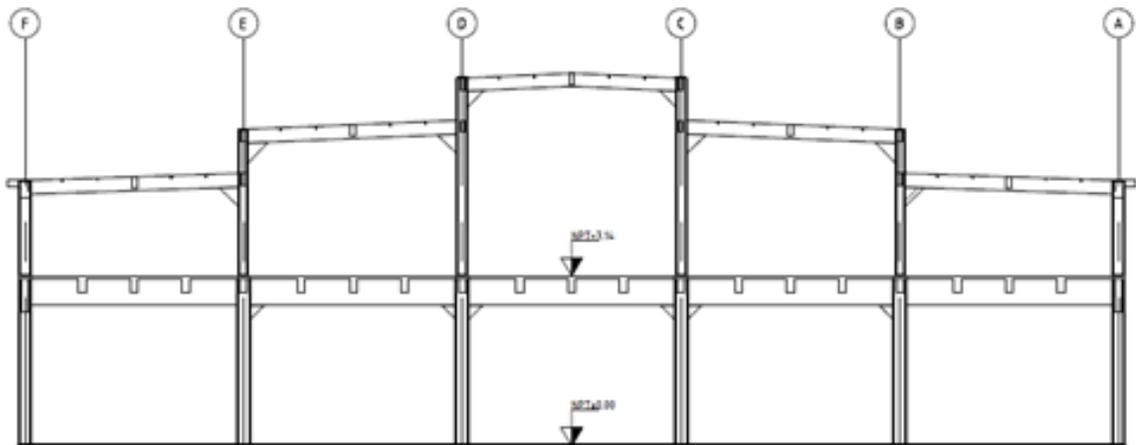


Figura 3.4 Pórticos que componen la estructura. (Fuente: Planos de levantamiento estructural)



Figura 3.5 Parte inferior del pórtico (1er Nivel). (Fuente: elaboración del autor)



Figura 3.6 Parte superior del pórtico (2do Nivel). (Fuente: elaboración del autor)

Formando parte de la estructura se encuentra una especie de ático bajo la losa de entrepisos, ésta es una sección que se ubica en el pórtico central del entrepiso y desde el eje 1 (correspondiente al edificio frontal) hasta el eje 10 del espigón. En la figura 3.7 a la derecha se muestra el



*Figura 3.7 Vista lateral d una sección del ático.
(Fuente: elaboración del autor)*

aspecto exterior de una sección del ático.

En esta sección el puntal es, aproximadamente, 1.20 m más bajo que en el resto del primer nivel, en su interior se encuentra un sistema de columnas y vigas de hormigón armado -que usan como refuerzo barras de acero lisas- las que soportan la losa de piso del segundo nivel. Los laterales son muros bajos apoyados sobre la losa con vanos de ventanas bajas y alargadas.

En la figura 3.8 se muestra una sección de las fachadas laterales, los arriostres en estas fachadas se logran con la utilización de vigas de cierre en los dos niveles de la edificación. En el primer nivel la viga es de hormigón armado con barras de acero lisas, de gran peralte; esta viga aparece calada por pequeñas y alargadas ventanillas con funciones de iluminación principalmente.



Figura 3.8 Aspecto actual del sistema de cierre del primer nivel. (Fuente: elaboración del autor)

En el segundo nivel se presenta un sistema mixto de cierre, compuesto por perfiles y planchas metálicas revestidas de hormigón y sobre ésta una sección de hormigón armado en “L” invertida, con el ala hacia afuera y la arista entre alas redondeada (solución arquitectónica), las barras de esta sección son lisas y corrugadas, ver figura 3.9.



Figura 3.9 Aspecto actual del sistema de cierre del segundo nivel. (Fuente: elaboración del autor)

El entrepiso está compuesto por una losa de hormigón armado y la cubierta está constituida por un hormigón pobre y una malla metálica nervada reforzada en los nervios, que apoya sobre *purling* metálicos de perfiles “C”.

Los perfiles metálicos que componen la estructura fueron fabricados en Estados Unidos, por lo tanto los catálogos consultados para una mejor concepción de las características de reales de la estructura fueron los de la productora americana de perfiles de acero *Carniege Steel Company*.

Como la edificación se termina en el año 1914, se consulta el de 1903 pero al no aparecer toda la gama de perfiles que se encontró en el espigón, se realizó una segunda consulta en el catálogo de 1923, donde se completó todos los tipos de perfiles existentes. Esto puede deberse a que en el intervalo de 20 años pudieran haber surgido cambios en la producción de perfiles, y que la fecha de ejecución está más cercana a la década del 20.

A continuación, se muestran en una tabla la nomenclatura utilizada por el autor y la designación original establecida por la *Carniege Steel Company*, según correspondencia entre las dimensiones de los perfiles metálicos de las vigas y columnas in situ, con lo especificado en los catálogos de la época.

Tabla 3.1 Nomenclatura de los perfiles metálicos. (Fuente: elaboración del autor)

<i>Descripción</i>	<i>Tipo</i>	<i>Nomenclatura: catálogo 1903</i>	<i>Nomenclatura: catálogo 1923</i>
L 50.8 x 6	L	A 60	A11 → 2"x2"x3/16"
L 63.5 x 8		A 100	A9 → 2 ½"x2 ½"x3/16"
L 76.2 x 8			A7 → 3"x3"x5/16"
L 76.2 x 10		A 40	A7 → 3"x3"x3/8"
C 100 x 40	C	C9	C9 → 4"x 1.58"

Desde el punto de vista general, la estructura, está formada por varias tipologías constructivas integradas armoniosamente entre sí. Para una mejor comprensión se describe está de acuerdo a la conformación de sus elementos.

3.2.1. Columnas.

Las columnas son elementos compuestos, constituidas por cuatro angulares unidos por láminas metálicas diagonales en las cuatro caras, dándole forma de columna metálica por sí misma. Esta estructura fue rellena y recubierta con hormigón para dar el aspecto actual.

En el primer nivel dichos elementos varían su sección tanto en hormigón como en tipo de perfil según su posición en la edificación. Existiendo una simetría de forma transversal en el pórtico, o sea, los ejes A y F, B y E y C y D son iguales entre sí. La clasificación de las columnas se realiza en base tanto a la sección del perfil metálico como a la de hormigón, existiendo tres tipos en este nivel.

Tabla 3.1 Características de las columnas en el 1er Nivel. (Fuente: elaboración del autor)

<i>Tipo columna</i>	<i>Ubicación (Ejes)</i>	<i>Sección de hormigón (mm)</i>	<i>Sección de celosía metálica (mm)</i>	<i>Angulares</i>	<i>Cinta plancha</i>
Tipo I	A y F	470 x 470	405 x 405	63.5 x 8	50 x 7
Tipo II	B y E	510 x 510	445 x 445	76.2 x 8	50 x 7
Tipo III	C y D	510 x 510	460 x 460	76.2 x 10	50 x 7

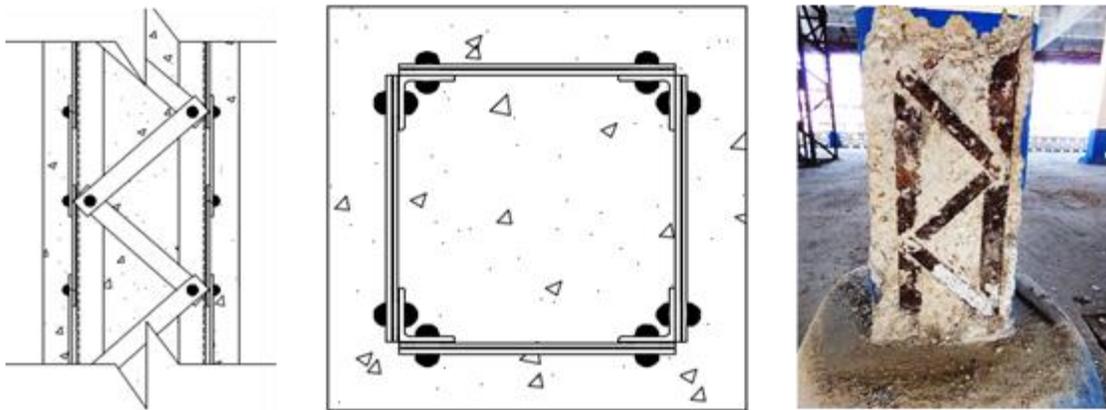


Figura 3.10 Esquema y aspecto actual de las columnas. (Fuente: Planos de levantamiento estructural y elaboración del autor)

En el segundo nivel, se mantiene la misma tipología, pero tanto la sección de la estructura metálica como la de hormigón presentan cambios, obteniéndose una reducción de ambos. Quedando de la manera que se describe a continuación.

Tabla 3.3 Características de las columnas del 2 do Nivel. (Fuente: elaboración del autor)

<i>Tipo columna</i>	<i>Sección de hormigón (mm)</i>	<i>Sección armadura metálica (mm)</i>	<i>Angulares</i>	<i>Cinta plancha</i>
Tipo I (Ejes A y F)	400 x 400	320 x 320	50.8 x 6	50 x 7
Tipo II (Ejes B y E)	360 x 360	300 x 300	50.8 x 6	50 x 7
Tipo III (Ejes C y D)	450 x 450	400 x 400	76.2 x 10	65 x 9
Tipo IV (Ejes A y F)	420 x 420	345 x 345	50.8 x 6 140 x 10	50 x 7
Tipo V (Ejes A y F cierre vanos)	350x150	310 x 165	4 Ø 16	Ø 10 @700
Tipo VI (B4' y B1')	400 x 300	365 x 235	5 Ø 25	Ø 10 @300

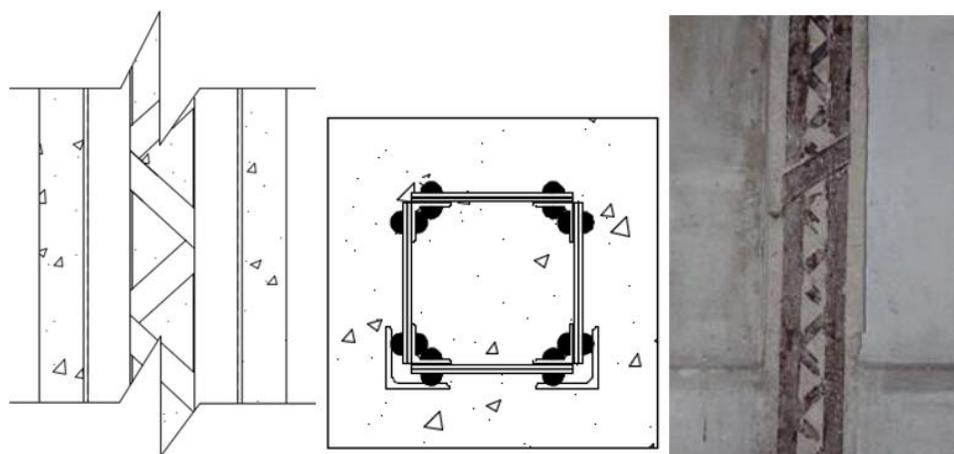


Figura 3.11 Esquema y aspecto actual de la columna reforzada tipo IV en el 2do Nivel.

(Fuente: Planos de levantamiento estructural y elaboración del autor)

En los ejes de fachadas (ejes A y F) del segundo nivel se presentan, además de los caracterizados anteriormente (I, II y III), tres nuevos tipos (IV, V y VI). El IV presenta la misma configuración de armadura de acero que la tipo I, pero además posee un refuerzo formado por un angular de alas iguales de 80 x 7 soldados a la estructura metálica por el lado interior de la edificación (figura 3.11). Este refuerzo sirve de soporte a las pasarelas metálicas que se encuentran en el exterior de ambas fachada utilizadas para la carga y descarga de mercancía, las cuales fueron adicionadas entre la década del 40 y la primera

mitad de los 50. Esto trajo además un sobredimensionamiento de la sección de hormigón de 7 cm.

Por último el tipo V y VI constituidos por estructuras de hormigón armado, tienen como función, en el caso del primero (figura 3.12), el cierre de los vanos de las puertas; y el segundo (figura 3.13), adicionado con posterioridad a la edificación, forma parte de una estructura de refuerzo a la viga localizada en el eje B entre 1 y 4.

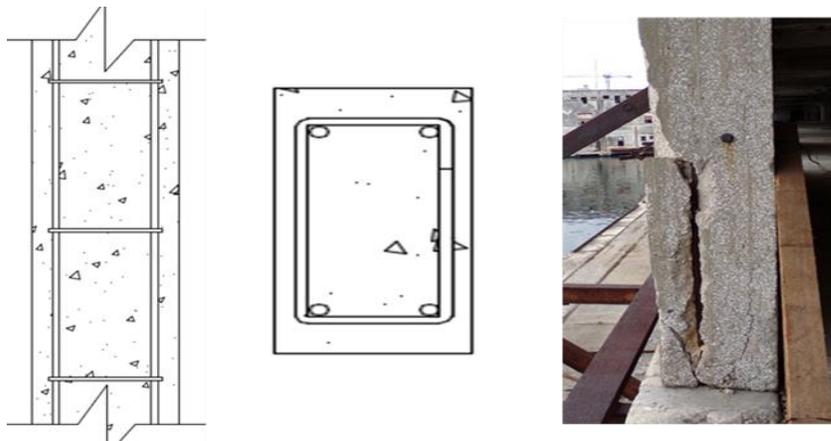


Figura 12 Esquema y aspecto actual de la columna de cierre de vanos en el 2 do Nivel.

(Fuente: Planos de levantamiento estructural y elaboración del autor)

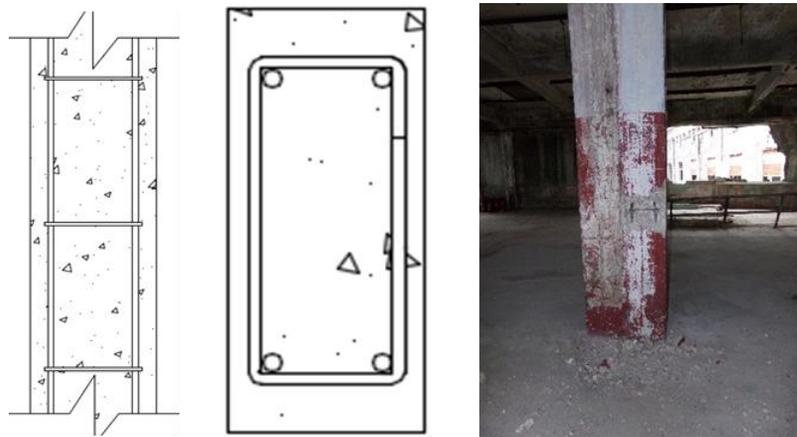


Figura. 3.13 Esquema y aspecto actual de la columna de refuerzo de la columna localizada en el eje B entre 1 y 4.1. (Fuente: Planos de levantamiento estructural y elaboración del autor)

3.2.2. Vigas.

Las vigas generalmente están sometidas a esfuerzos de flexión y cortante, los que son soportados por el acero de refuerzo y el hormigón respectivamente. Para la concepción de los tipos de vigas se procedió de igual forma que para las columnas, resultando de la investigación que los tipos de secciones de las vigas en el primer nivel son cinco, la mayoría de hormigón armado, excepto las vigas ubicadas en los ejes 6, 12, 18, 23 y 29 entre D y E y B y C, que son vigas conformadas por perfiles y planchas metálicas.

Las vigas transversales tipo I y tipo II o vigas de los pórticos (ver plano de estructura) tienen un peralte de 1.12 m con un área de acero inferior de 80.4 cm², la única diferencia entre ambos tipos es que las primeras no poseen en la unión con las columnas cartelas y las segundas sí. Debe aclararse que dichas cartelas son de hormigón simple (sin refuerzo) con dimensiones de 600 x 600 mm. Los cercos, de 12 mm de diámetro, son abiertos y con terminación en forma de bastón, con espaciamientos variables.

Las vigas longitudinales o de arriostres de pórticos, posee un peralte de 0.70 m con cinco barras lisas de refuerzo de 32 mm de diámetro de refuerzo inferior y al igual que los primeros dos tipos sus cercos son abiertos y con terminación de bastón de 12 mm de diámetro espaciados a longitudes variables.

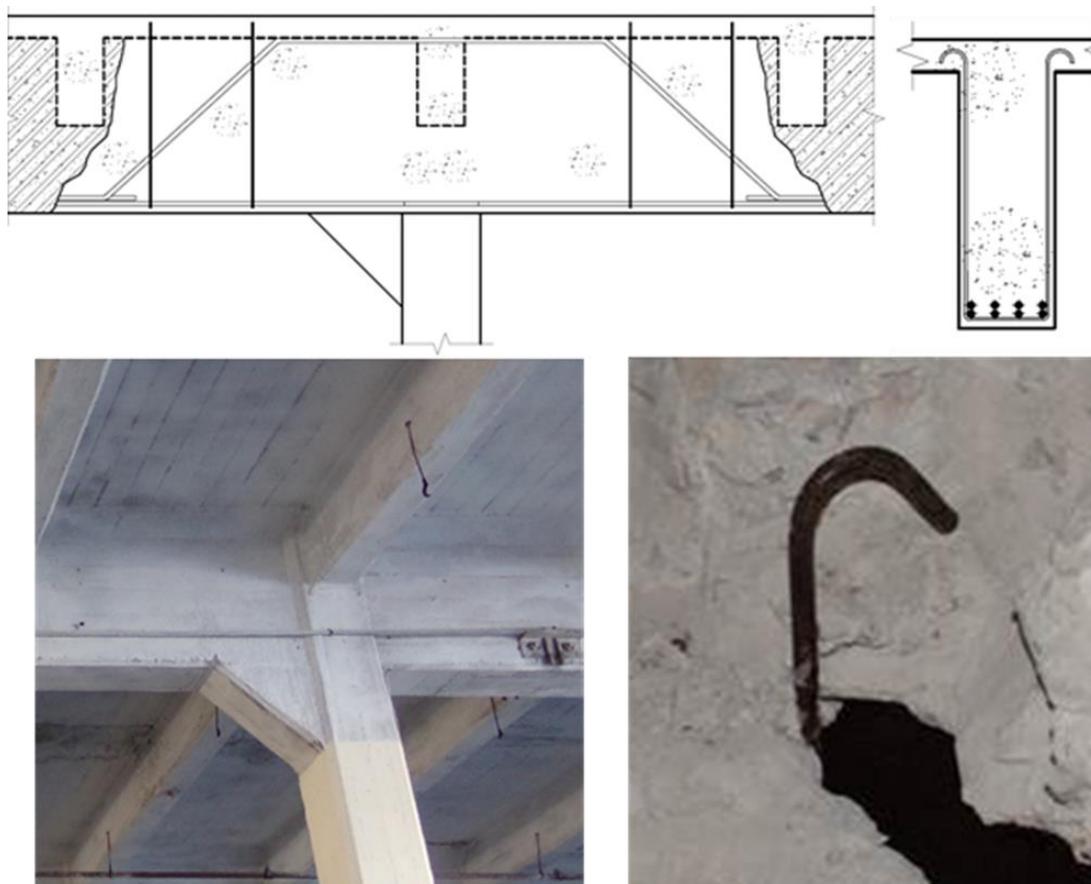


Figura 3.24 Esquemas y aspecto actual de vigas longitudinales en 1er Nivel. Nótese en la segunda imagen los cercos abiertos con terminación de bastón. (Fuente: elaboración del autor)

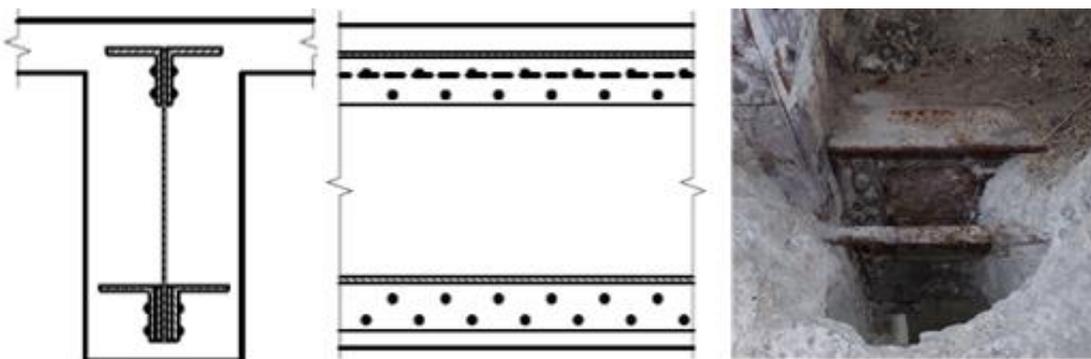


Figura 3.35 Esquema y aspecto de la viga metálica ubicada en los ejes 6, 12, 18, 23 y 29 entre B y C, y D y E. (Fuente: Planos de levantamiento estructural y elaboración del autor)

Como puede observarse en la Figura 3.15, esquema que refiere a las vigas tipo IV, la estructura del refuerzo está dada por cuatro angulares de 150 x 16 mm unidos por remaches en toda la longitud del elemento a una plancha metálica continua de 785 x 10 mm. La sección de hormigón es de 0.91 m de peralto y 0.42 m de ancho.

Por último, pero no menos importante, las viga tipo V localizadas en las fachadas, son elementos de sección en forma de L con ala corta. Su peralto es de 1.58 m y el ancho de la base y del alma es de 0.47 y 0.20 m respectivamente.

El área del acero de refuerzo es de 59.16 cm² constituida por barras lisas de 12 y 25 mm de diámetro. La barra de refuerzo intermedia a 1/3 de la luz transiciona a la cara superior de la viga al igual que en los casos anteriores.



Figura 3.16 Esquema y aspecto de viga de fachada del 1er Nivel. (Fuente: elaboración del autor)

En el segundo nivel, la tipología de las vigas es completamente diferente. En casi su totalidad son vigas compuestas por perfiles y planchas metálicas revestidas de hormigón. Todas las uniones están realizadas a base de remaches y pernos. Se determinaron ocho tipos de vigas, basado tanto en las dimensiones de la sección metálica como la de

hormigón, seis de ellas mixtas, una de hormigón armado y una completamente metálica. Esta última se tuvo en cuenta porque son las que soportan la cubierta original.

Al igual que otros elementos tienen una simetría de forma longitudinal, de manera que los tipos de vigas presenten entre los ejes A-B, E-F, B-C y D-E son iguales y diferentes a C-D.

Tabla 3.4 Características de las vigas en el 2do Nivel. (Fuente: elaboración del autor)

<i>Tipo vigas</i>	<i>Sección de hormigón (mm)</i>	<i>Peralto de armadura metálica (mm)</i>	<i>Refuerzo superior</i>	<i>Refuerzo inferior</i>	<i>Refuerzo secundario</i>
Tipo I	580 x 200	430	2 L 63.5 x 6	100 x 15	75 x 7
Tipo II	(Sección variable) 436 x 200 a 636 x 200	(Sección variable) 363 a 486	2 L 63.5 x 6	100 x 15	75 x 7
Tipo III	900 x 350	440			
Tipo IV	465 x 200	430	2 L 63.5 x 6	55 x 10	50 x 7
Tipo V	470 x 200	430	2 L 50.8 x 6	65 x 10	50 x 7
Tipo VI	470 x 200	330	2 L 50.8 x 6	50 x 8	50 x 7
Tipo VII		C 100 x 40			
Tipo VIII	715 x 300	615	7 \emptyset 25		\emptyset 10

Las cartelas en las vigas de este nivel están compuesta por elementos metálicos recubiertos de hormigón y sus dimensiones varían de acuerdo a su localización, quedando de la siguiente forma, entre los ejes C y D tienen una dimensión de 700 x 700 mm, mientras que en las uniones con las columnas en el eje B y E y entre los ejes B y C y los ejes D y E es de 850 x 850 mm.

3.2.3. Uniones.

Para poder definir los tipos de uniones (viga - viga, viga - columna y columna – columna) se determinan “in situ” sus características físicas, además se comprueban las dimensiones de los perfiles metálicos de las vigas y columnas en su respectiva unión. Durante los trabajos de campo se pudieron identificar -entre los dos niveles- varios tipos de uniones:

- seis tipos de unión: viga - columna.
- cinco tipos de unión: viga - viga.
- tres tipos de unión: columna - columna.

Se considera que todas estas uniones garantizan el empotramiento o continuidad de los elementos.

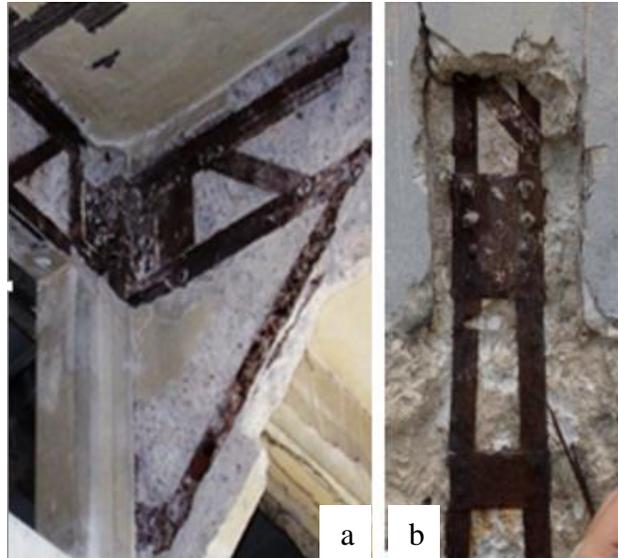


Figura 3.17 Uniones: a: viga-columna-viga .y b: columna-columna. (Fuente: elaboración del autor)

3.2.4. Losa de entrepiso.

Las losas al igual que las vigas son elementos que trabajan principalmente a flexión; para determinar su forma de trabajo se hizo necesario visualizar los refuerzos dentro de la masa de hormigón que la compone. Se determina en varias zonas de la edificación los espesores de recubrimientos, diámetros de los aceros y los espaciamientos tanto del acero que asume esfuerzos de momentos positivos y negativos (carga), como del acero que asume las tensiones de retracción (temperatura).

Como resultado de la comprobación por zonas de las características de la losa de entrepiso antes mencionadas, se obtuvo que están formadas por una losa de hormigón armado con un espesor promedio de 14.0 cm.

Se determinó la distribución de los aceros de refuerzos, estando compuesta la malla por barras lisas de 12 mm de diámetro, determinando además la forma de trabajo de las losas. El espaciamiento de los aceros de carga está a 20 cm y los de temperatura a 60 cm. Las mismas trabajan en una sola dirección, apoyando en las vigas secundarias longitudinales.

En la intersección con las vigas secundarias, los aceros principales cambian su posición de inferior a superior y asumiendo de esta forma, al igual que las vigas del primer nivel,

los momentos negativos, las bayonetas se ubican alternadamente cada un refuerzo, quedando espaciado el acero negativo cada 40 cm.

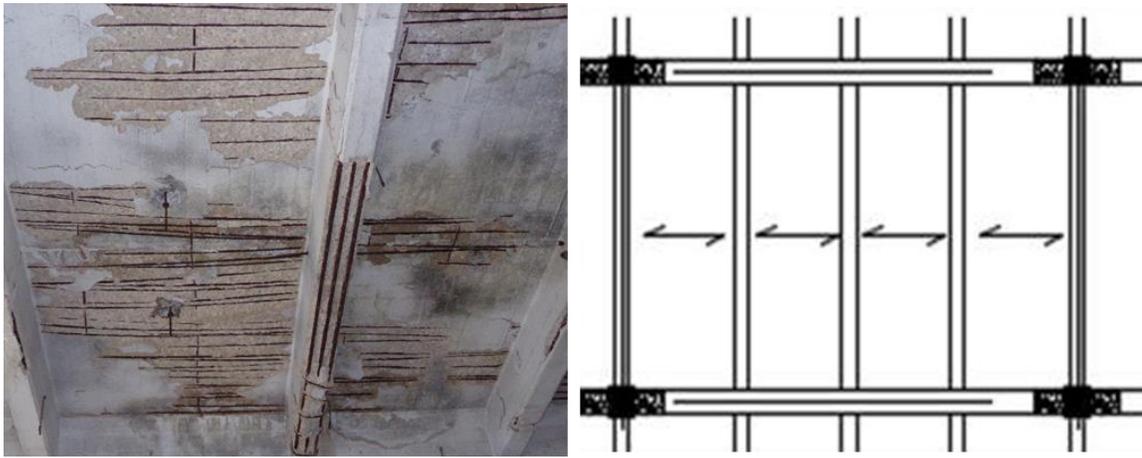


Figura 3.18 Ubicación de acero de refuerzo en la losa y su forma de trabajo. (Fuente: Planos de levantamiento estructural y elaboración del autor)

3.2.5. Muros.

Los muros existentes en el espigón se encuentran en las fachadas norte y sur del segundo nivel, se puede decir que son muros compuestos por un murete de ladrillos de 0.90 m de alto sobre el que se apoya un panel de hormigón de bajas prestaciones reforzado con malla nervada hasta la cara inferior de la viga de arriostre de columnas en las fachadas; en las caras exteriores ambos están revestidos con mortero de acabado.

En la figura 3.19 se muestra una sección de las fachadas en la que se aprecia la disposición de los muros en el segundo nivel y los vanos de acceso a las pasarelas de carga y descarga.

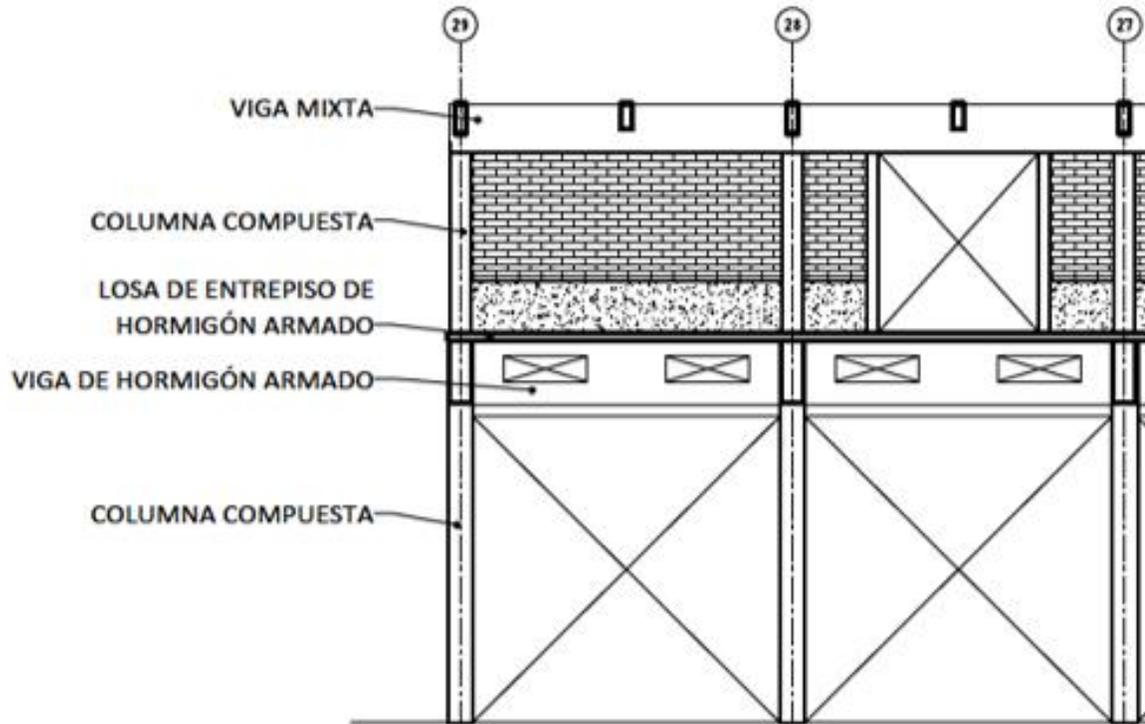


Figura 3.19 Esquema de fachada. Nótese la disposición de los muros del segundo nivel.

(Fuente: Planos de levantamiento estructural)

Para un mayor entendimiento de la ubicación, cuantificación y tipologías de los elementos por nivel revisar el ANEXO B Planos de levantamiento estructural donde estos aparecen representados.

3.3. Levantamiento patológico.

En sentido general, todos los elementos inspeccionados (losa de entrepiso, vigas, columnas) en cada nivel presentan similares lesiones en mayor o menor medida, entre las que se encuentran:

- Acero expuesto (perfiles o barras de acero según el elemento).
- Desconchados.
- Lesiones asociadas a las humedades.
- Fisuras.

- Perdidas parciales o totales de los elementos.

Las lesiones se clasificaron en función de su origen en: patologías estructurales, no estructurales y de los materiales y en función del grado de afectación de la estructura en **daños leves**, **daños medios** o **daños graves**.

3.3.1. Patologías estructurales.

- Vigas principales.

Durante el levantamiento de campo se describió el daño presente en los extremos de las vigas pórtico del primer nivel, que se acoplan a las columnas de fachada. Se observaron lesiones de fallo por cortante, que se manifiestan en forma de fisuras y grietas, ubicadas cercanas a la unión entre vigas y columnas de la fachada norte, a una distancia que varía entre 0.50 y 0.70 m de la unión de las vigas 17, 18, 19, 21 y 22 con el eje F.

El mal estado de la unión viga-columna, la pérdida de sección en los cercos y la presencia del fallo, es un indicador de la situación extrema en que se encuentra esta zona, donde los esfuerzos actuantes de cortante en algún momento superaron la capacidad resistente de la sección y provocaron el fallo. Por tal motivo en esos puntos ya se realizó un refuerzo de las vigas fallada.

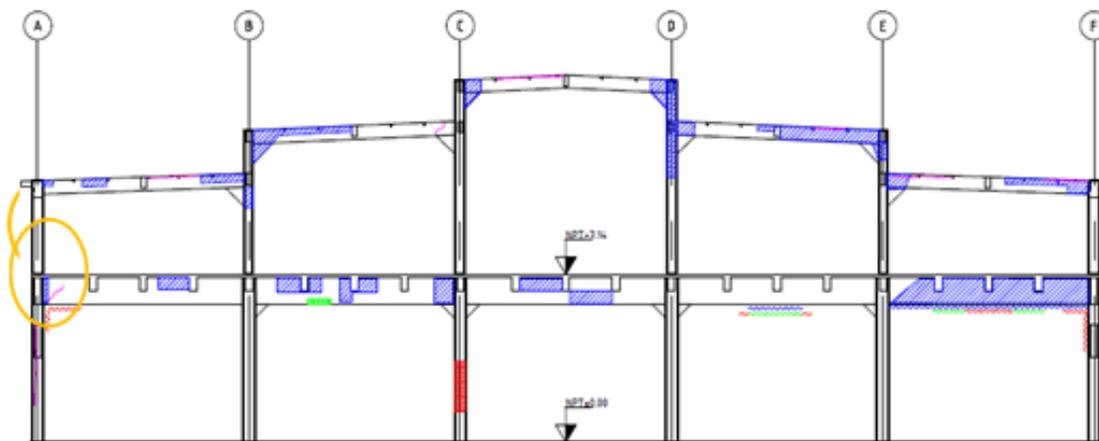


Figura. 3.20 Esquema de ubicación de grietas por fallo a cortante en vigas de los extremos. (Fuente: Planos de levantamiento patológicos)

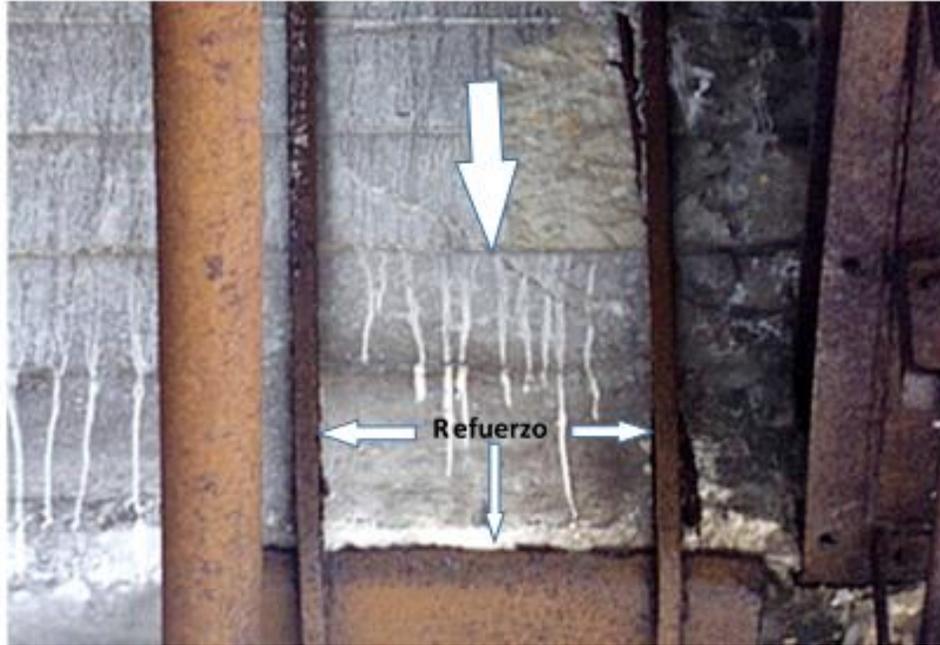


Figura 3.21 Grietas por fallo cortante en vigas pórtico cercanas a la fachada. Vista lateral.

(Fuente: elaboración del autor)

- Ático (Caso particular).

En la inspección visual realizada en su interior se encontró que, tanto las columnas y vigas de hormigón armado como la losa de piso del segundo nivel se encuentran en muy deterioradas.

Como se aprecia en la figura 3.22, las vigas han perdido gran parte del hormigón dejando sueltas las barras de acero, pues no tienen cercos, algunas de las cuales ya habían caído al piso en el momento de la inspección. También se puede ver que las columnas se han agrietado completamente y al menos una ha perdido por colapso toda la masa de hormigón. En cuanto a la losa se puede observar que ha perdido la mayor parte del recubrimiento del acero, el cual se presenta con corrosión avanzada.



Figura 3.22 Deterioros del ático. a: viga destruida, b: Columna colapsada y c: losa con aceros corroídos. (Fuente: elaboración del autor)

3.3.2. Patologías no estructurales.



Figura 3.23 Lesiones asociadas a las humedades en los elementos. a: columna, b: viga y c: viga y losa. (Fuente: elaboración del autor)

Las humedades aparecen en ambos niveles de la edificación. Se encuentran en columnas, vigas y fundamentalmente en la losa de entrepiso, como se muestra en la figura anterior. Su ubicación en cada nivel está relacionada directamente con la pérdida parcial de la cubierta, sobrecubierta y con los vanos de puerta existentes en las fachadas. Estos puntos constituyen los lugares más vulnerables pues, durante los trabajos de inspección también se pudo comprobar que existen algunas zonas en la losa de entrepiso donde se acumula el agua debido a desniveles de la superficie, debajo de los puntos sin techo y cercanos a las aberturas de las fachadas.

3.3.3. Patologías de los materiales.

- Corrosión de la estructura metálica.

Los daños causados por corrosión de armaduras provocan la pérdida de sección del acero (figura 3.24), generalmente se manifiestan a través de fisuras en el hormigón paralelas a la dirección de los refuerzos, de laminación y/o desprendimientos del recubrimiento que dejan expuesto el acero. En componentes estructurales que presentan un elevado contenido de humedad, los primeros síntomas de corrosión se evidencian por medio de manchas de óxido en la superficie del hormigón.

Estos daños pueden afectar la capacidad portante de los componentes estructurales de una edificación, debido a la disminución de sección transversal de las armaduras, la pérdida de adherencia entre el acero y el hormigón y a la fisuración de éste. Así mismo, el progresivo deterioro de las estructuras por corrosión provoca desprendimientos de material, generando un riesgo elevado de accidentes.



Figura 3.24 Aceros con pérdidas de sección. a: en viga, b: en columna y c: en losa.

(Fuente: elaboración del autor)

En la edificación se encontraron elementos metálicos con pérdidas de sección variables, desde aceros sin afectaciones hasta elementos con pérdidas totales, tanto en columnas y vigas como en losas y muros, como se aprecia en las figuras 3.24 y 3.26a.

Durante el proceso corrosivo la de laminación del acero provoca un aumento del volumen de láminas de óxidos alrededor del elemento metálico, generando presiones laterales que separan -por fracturación- la masa de hormigón de recubrimiento. Esa separación se encontró en la estructura estudiada en forma de fisuras y grietas en las caras y/o aristas de columnas, vigas y en la cara inferior de la losa de entrepisos, como se observa en la figura 3.25.



Figura 3.25 Grietas y fisuras. a: en columna y viga, b: en viga y c: en losa y viga.

(Fuente: elaboración del autor)

Cuando el volumen de óxidos es lo suficientemente grande, y ya creadas las grietas y fisuras, el hormigón se desprende completamente, surgiendo las lesiones de abofado (el hormigón se separa pero no cae) y desprendimiento (el hormigón se separa y cae por gravedad) de la masa de hormigón de recubrimiento y dejando expuesto el acero de refuerzo. Este tipo de lesiones también se manifiestan en la edificación estudiada, como se puede apreciar en la figura 3.26.



Figura 3.26 Abofado y desprendimiento. a: en columna, b: en viga y c: en losa. (Fuente: elaboración del autor)

En la figura 3.26a se aprecia como la malla del nervio del muro prácticamente ha desaparecido, dejando solo una huella de color carmelita, además, se puede observar la grieta vertical de separación

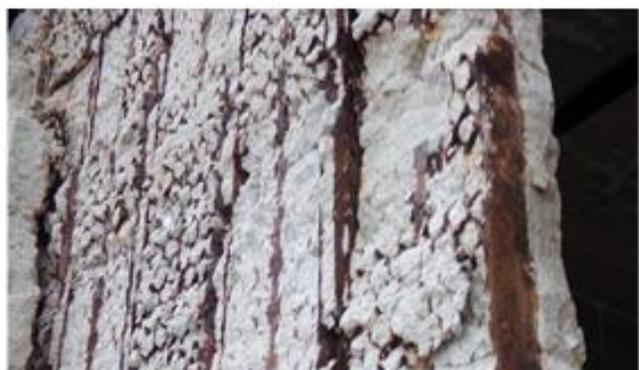


Figura 3.26a Corrosión de la malla nervada del muro

provocada por la corrosión de la malla en el interior del panel y que una de las caras se ha desprendido completamente. También se encuentra abofado el mortero de acabado.

3.3.4. Determinación de los volúmenes de daños.

La determinación de los volúmenes de daños encontrados en la edificación se llevó a cabo por tipo de elementos y tipo de daño. La siguiente tabla presenta a modo de resumen las principales lesiones detectadas y cuantificadas en la etapa de levantamiento patológico

Tabla 3.5 Volúmenes de daños por elementos. (Fuente: elaboración del autor)

<i>Elemento</i>	<i>Acero expuesto (m2)</i>	<i>Desconchado (m2)</i>	<i>Fisuras y grietas (m)</i>	<i>Humedades (m2)</i>	<i>Pérdida parcial de elementos (m2)</i>	<i>Pérdida total de elementos (m2)</i>
Losas	686.43	38.22	1278.68	1078.83	0.00	0.00
Vigas	327.05	173.36	2478.72	3213.40	9.22	0.00
Columnas	72.36	42.41	494.52	148.92	0.41	0.96
Muros	57.99	38.99	813.50	641.96	40.91	12.96
Total	1143.83	292.98	5065.42	5083.11	50.54	13.92

El análisis que a continuación se muestra, considera un incremento de daños en un 30 %, porcentaje estimado por los especialistas del Equipo de Patología y Restauración de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas a la Construcción (InvesCons) a partir de la experiencia adquirida en el estudio de obras similares, con el objetivo de obtener volúmenes daños más precisos, los cuales se pueden tener en cuenta a la hora de intervenir en la edificación.

Tabla 3.6 Volúmenes de daños por elementos (incremento de un 30%).(Fuente: elaboración del autor)

<i>Elemento</i>	<i>Acero expuesto (m2)</i>	<i>Desconchado (m2)</i>	<i>Fisuras y grietas (m)</i>	<i>Humedades (m2)</i>	<i>Pérdida parcial de elementos</i>	<i>Pérdida total de elementos (m2)</i>
-----------------	----------------------------	-------------------------	------------------------------	-----------------------	-------------------------------------	--

					(m ²)	
Losas	892.36	49.69	1662.28	1402.48	0.00	0.00
Vigas	425.17	225.37	3222.34	4177.42	11.99	0.00
Columnas	94.07	55.13	642.88	193.60	0.53	1.25
Muros	75.39	50.69	1057.55	834.55	53.18	16.85
Total	1486.98	380.87	6585.05	6608.04	65.70	18.10

Para un mayor entendimiento de la ubicación y cuantificación de los deterioros por nivel revisar el ANEXO B Planos de levantamiento patológico donde estos aparecen representados.

3.4. Caracterización de los materiales.

3.4.1. Ensayos físicos

Velocidad de la onda ultrasónica.

En la tabla 3.7 se muestran -por elemento en cada nivel- los rangos de valores de velocidad obtenidos en campo, los valores promedios calculados, la cantidad de valores deficientes y el porcentaje que representan del total de la muestra.

Tabla 3.7 Rango y valores medios de velocidad del pulso ultrasónico. (Fuente: elaboración del autor)

<i>Nivel</i>	<i>Elementos</i>	<i>Rango de Valores (m/s)</i>	<i>Promedio (m/s)</i>	<i>Deficientes (%)</i>
1	Columnas	1016-3860	2611	13.8%
	Vigas	1546-3984	2195	35.8%
	Losas entrepiso	1309-2467	2092	33.3%
2	Columnas	1214-2801	1875	53.3%
	Vigas	1285-2484	1895	61.9%

Según la tabla anterior se hace marcada una tendencia al descenso de la calidad del hormigón en la vertical ascendente de la edificación y en sentido general se puede afirmar que los resultados obtenidos evidencian que el hormigón tiene una calidad entre normal y deficiente, predominantemente.

A continuación se muestra una secuencia de mapas de isolíneas representando el comportamiento espacial de las velocidades del pulso ultrasónico en cada nivel y para cada elemento estructural sometido a dichas determinaciones. Debe recordarse que los dos últimos pórticos no fueron sometidos a estudio, por lo cual hacia ese extremo (culata) aparece truncado el comportamiento de las propiedades.

Las isolíneas azules representan el límite entre hormigones deficientes y normales, y las isolíneas de color magenta indican el límite entre hormigones normales y de alta calidad, según los criterios de evaluación de la RED DURAR. Nótese, en la figura 3.27, que la mayor parte del área del 1er Nivel corresponde a elementos con calidad NORMAL con valores de velocidad del pulso ultrasónico entre 2001 y 3000 m/s y contenidas dentro de ellas algunas zonas aisladas –principalmente del interior de la edificación- con valores superiores que 3000 m/s de ALTA calidad. Quedando para las fachadas laterales los valores inferiores que 2000 m/s, lo cual corrobora el comportamiento esperado de la calidad del hormigón para estas condiciones tan agresivas. Los puntos de valores máximos, contenidos dentro de las isolíneas 3000 m/s corresponden a las columnas que presentaban mejor calidad del hormigón.

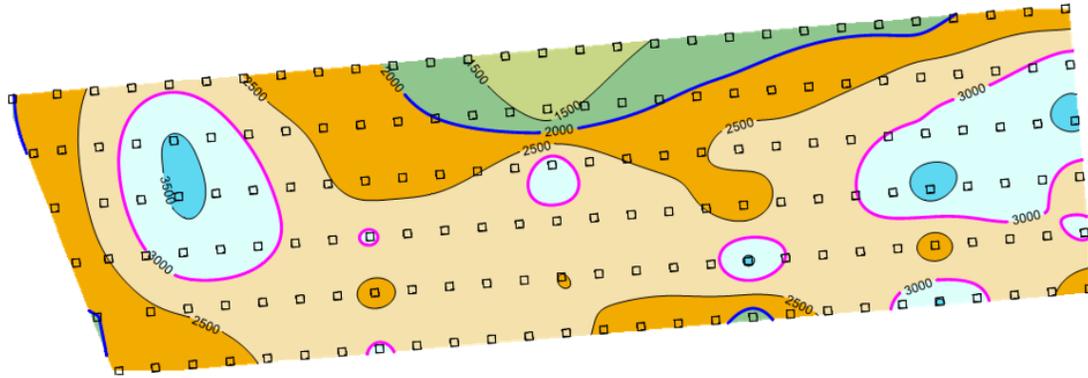


Figura 3.27 Mapa de isolíneas de velocidad del pulso ultrasónico de las columnas del primer nivel. (Fuente: software Surfer)

Como tendencia, en la figura 3.28, el comportamiento es similar al anterior, más heterogéneo gráficamente por tratarse de vigas y porque reciben de manera diferente los efectos de los aerosoles marinos y, a la vez, el ascenso convectivo de los vapores de agua, propios de la humedad relativa elevada del medio circundante. Nótese que la mayor parte del área corresponde a hormigones de calidad Normal, pero con solo tres núcleos de ALTA Calidad bien localizados. Se aprecia también el incremento de las áreas con valores de calidad DEFICIENTE con velocidades menores que 2000 m/s.

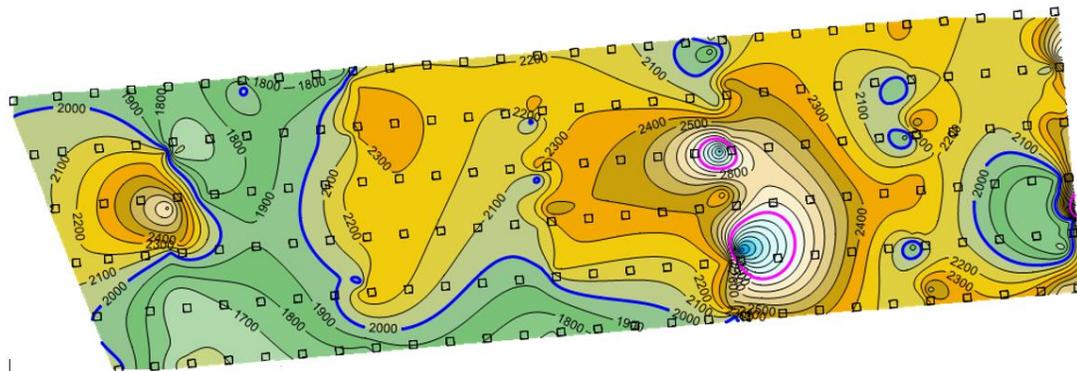


Figura 3.28 Mapa de isolíneas de velocidad del pulso ultrasónico de las vigas del primer nivel. (Fuente: software Surfer)

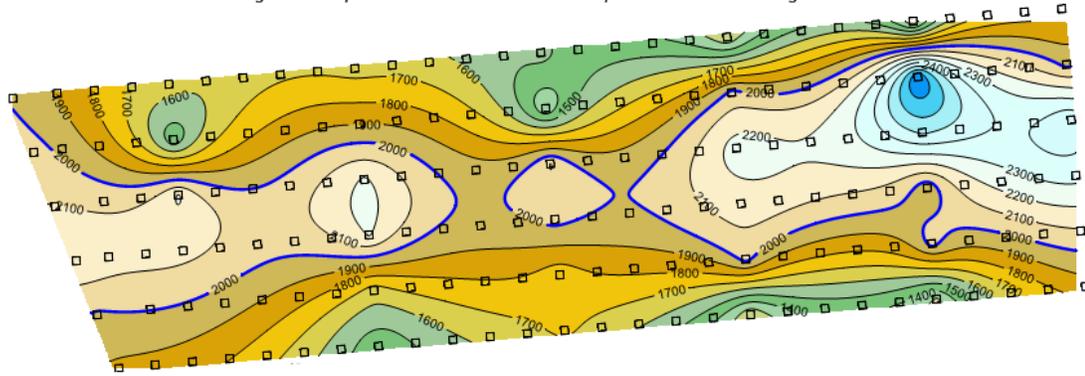


Figura 3.29 Mapa de isótopos de velocidad del pulso ultrasónico de las columnas del segundo nivel. (Fuente: software Surfer)

En la figura 3.29 se aprecia lo que podríamos llamar el comportamiento esperado de la reducción de la calidad del hormigón por influencia del medio en este tipo de estructuras alargadas que penetran en el mar, donde la mejor calidad se asocia a los elementos del núcleo central –valores de velocidad superiores que 2000m/s- manifestándose una reducción considerable y rápida de la calidad hacia las fachadas laterales, ocupando más del 60% del área total los calores de calidad DEFICIENTE.

Como la tendencia expresada en comentario a la tabla 3.7, en la figura 3.30 se observa gran parte del área con valores de calidad DEFICIENTE en las vigas del 2do Nivel, con núcleos alargados de calidad Normal que segmentan la estructura, reforzando el criterio de disminución de la calidad del hormigón con la altura.

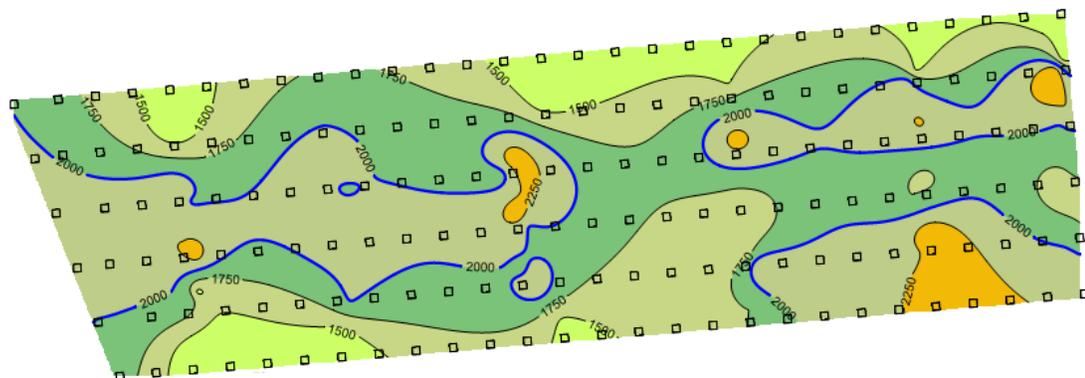


Figura 3.30 Mapa de isótopos de velocidad del pulso ultrasónico de las vigas del segundo nivel. (Fuente: software Surfer)

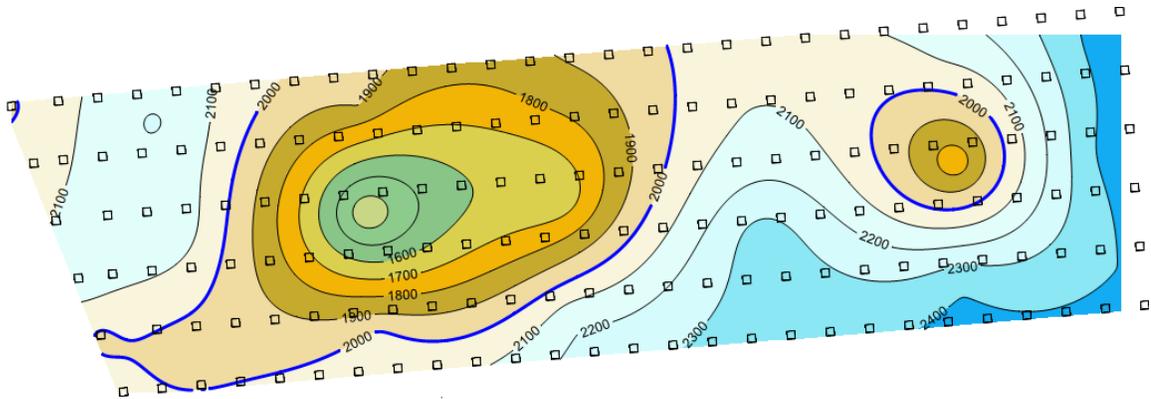


Figura 3.31 Mapa de isolíneas de velocidad del pulso ultrasónico de la losa de entre pisos. (Fuente: software Surfer)

Como se observa en la figura 3.31, en la losa entrepisos se presentan dos núcleos de calidad DEFICIENTE asociados a la parte del central del área en lo fundamental. Por ser un elemento horizontal y continuo recibe de forma diferente la acción de los aerosoles que, marcada por las direcciones predominantes de los vientos del norte al noreste, se depositan en mayor cantidad sobre la superficie interior al producirse un descenso de la velocidad de éstos.

NOTA: En sentido general, como el muestreo de las propiedades es aleatorio y en un número reducido de puntos, este modo de visualizar el comportamiento espacial de las propiedades permite estimar, aproximadamente, el valor esperado de cada propiedad en el resto de los puntos que no fueron sometidos a ensayo, interpolando entre isolíneas contiguas.

Porosidad efectiva del hormigón.

A continuación, se muestran los resultados de porosidad efectiva para las muestras ensayadas.

Tabla 3.8 Resumen de los valores de porosidad efectiva. (Fuente: elaboración del autor)

<i>Nivel</i>	<i>Elementos</i>	<i>Rango de valores</i>	<i>Promedio</i>	<i>No cumple ($\xi > 10$)</i>
1	Columnas	15-20	16.3	100 %
	Vigas	13-20	15.2	100 %
2	Columnas	11-16	13.7	100 %
	Vigas	12-25	16.7	100 %

Como se observa en la tabla 3.8 las muestras indican que el hormigón posee elevada porosidad presentando en todas las muestras ensayadas un porcentaje superior al 10 % que exige la actual norma cubana.

Las porosidades están en correspondencia con las resistencias obtenidas en los ensayos de compresión.

Detección y distribución de acero (Recubrimientos).

Esta actividad se realizó para todos los tipos de elementos estructurales presentes en la edificación. Algunos de los elementos tenían áreas con armaduras expuestas y se comprobaron sin necesidad de realizar acciones destructivas. Además se empleó como apoyo a las pruebas de potencial de corrosión que precisa tomar la tierra en el acero.

Las particularidades del resto de los elementos (vigas y columnas), se determinaron por medio de la rotura hasta encontrar el perfil, luego se precisaron las características geométricas mediante el uso de cintas métricas y pie de rey.

En el caso específico de esta obra, los recubrimientos en algunos elementos presentan deficiencia en cuanto a la dimensión normada actualmente que permite brindar a los elementos la durabilidad requerida.

Se analizan los 14 tipos de vigas distribuidos indistintamente en los dos niveles del inmueble concluyendo que los tipos más vulnerables son los tipos V del primer nivel y III del segundo con recubrimientos que oscilan entre 2.2 a 5.0 cm.

Los tipos de columnas están distribuidas por niveles, presentando dimensiones de recubrimientos que se encuentran en el primer nivel entre 6.0 y 6.6 cm, y en el segundo entre 4.5 y 6.5 cm. Nótese que la mayoría de las columnas cumplen con los criterios de la norma NC 250:2005 para zonas de agresividad atmosféricas muy altas expuestas anteriormente.

Hay que señalar que los recubrimientos de las columnas y vigas fueron valorados a partir de los resultados de la comprobación física realizada, por tanto, al no ser inspeccionadas puntualmente el total de los elementos de la edificación pudieran encontrarse variaciones en sus dimensiones que no se correspondan con lo expresado anteriormente.

Las losas presentan un recubrimiento de 3.0 cm inferior al especificado de 4.0 cm normado para un ambiente de agresividad muy alta.

3.4.2. Ensayos mecánicos.

Resistencia a compresión del hormigón.

Los áridos empleados en la construcción de los elementos de la edificación presentan una granulometría muy heterogénea. Se utilizaron tamaños de áridos en ocasiones superiores a los 38.1 mm. Por lo que ante semejante situación se hace necesario el empleo de brocas de al menos 122 mm para la extracción de los testigos de hormigón en función de ese tamaño de árido, pero finalmente se empleó un diámetro de 100 mm por no contar con una barrena de diámetro superior.

Se cortaron a diferentes longitudes, respetando siempre que las esbelteces fueran iguales o mayores de 1, pero con algunas variaciones en dependencia de las propias características de cada uno, recibiendo el tratamiento establecido según las normas cubanas vigentes.

Tabla 3.9 Rango y valores medios de ensayos de resistencia a la compresión. (Fuente: elaboración del autor)

<i>Nivel</i>	<i>Elementos</i>	<i>Rango de valores</i>	<i>Resistencia media [Mpa]</i>	<i>Criterio de durabilidad</i>
1	Columnas	9.5-20.5	15.1	BAJO
	Vigas	7.0-18.5	13.1	BAJO
	Losa entrepisos	7.5-20.0	13.6	BAJO
2	Columnas	4.0-18.5	9.1	BAJO
	Vigas	4.0-10.5	6.4	BAJO

A partir de estos resultados se establecen las siguientes comparaciones:

- Según lo establecido en la RED DURAR (1997) para valores de resistencia menores de 20 MPa se considera que un hormigón es de baja durabilidad.
- Según la NC 120: 2014 Hormigón Hidráulico. Especificaciones, el valor de resistencia mínima requerida para un hormigón situado en una zona de agresividad ambiental muy alta es de 35 MPa.

Como criterio final se puede decir que la resistencia del hormigón promedio es menor a lo especificado en la RED DURAR (1997) y que lo especificado en la actual norma cubana; presentando resistencias muy bajas y no garantizando una adecuada durabilidad en un ambiente de alta agresividad ambiental.

3.4.3. Ensayos electroquímicos.

Resistividad del hormigón.

A continuación, se resume en una tabla los resultados obtenidos generales para cada elemento con su correspondiente criterio de evaluación respecto al riesgo de corrosión que plantea la RED DURAR (1997).

Tabla 3.10 Resumen de ensayos de resistividad. (Fuente: elaboración del autor)

Nivel	Elementos	Rango de valores	Valor medio ($K\Omega$ cm)	Riesgo de corrosión
1	Columnas	48.4 - 58.3	54.1	Riesgo Moderado (Moderado a alto)
	Vigas	47.4 - 56.1	51.7	Riesgo Moderado (Moderado a alto)
	Losa entrepisos	44.2 - 58.0	50.0	Riesgo Moderado (Moderado a alto)
2	Columnas	41.1 - 54.2	50.7	Riesgo Moderado (Moderado a alto)
	Vigas	31.5 - 57.9	48.0	Riesgo Moderado (Moderado a alto)

En la siguiente secuencia de mapas de isolíneas se muestra el comportamiento espacial de la resistividad eléctrica por cada tipo de elemento estructural y en los dos niveles de la edificación.

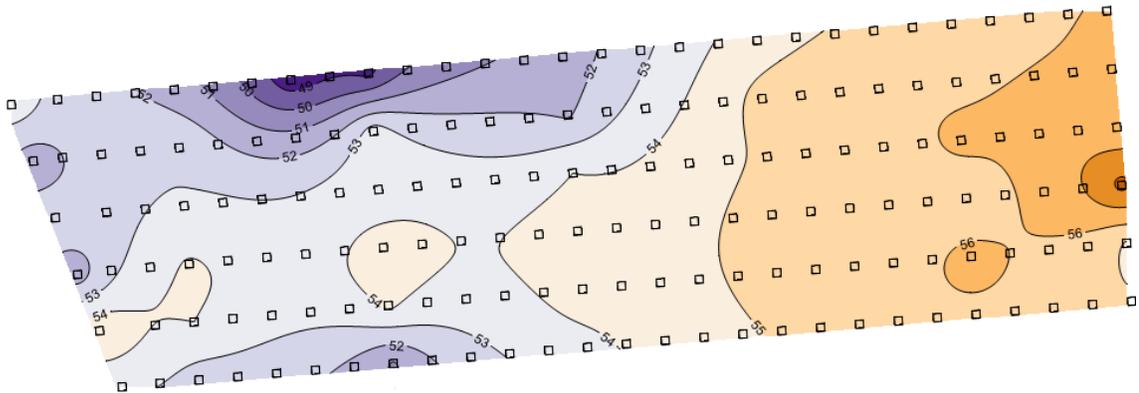
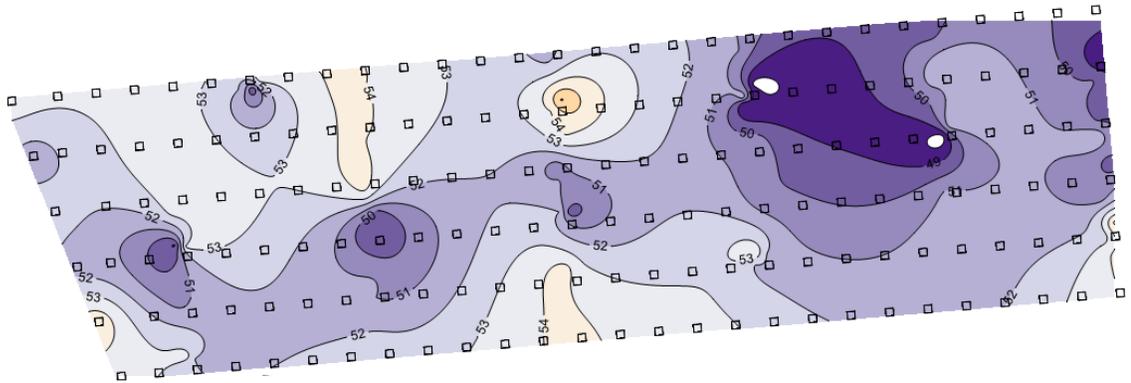


Figura 3.32 Mapa de isolíneas de resistividad eléctrica en columnas del primer nivel.

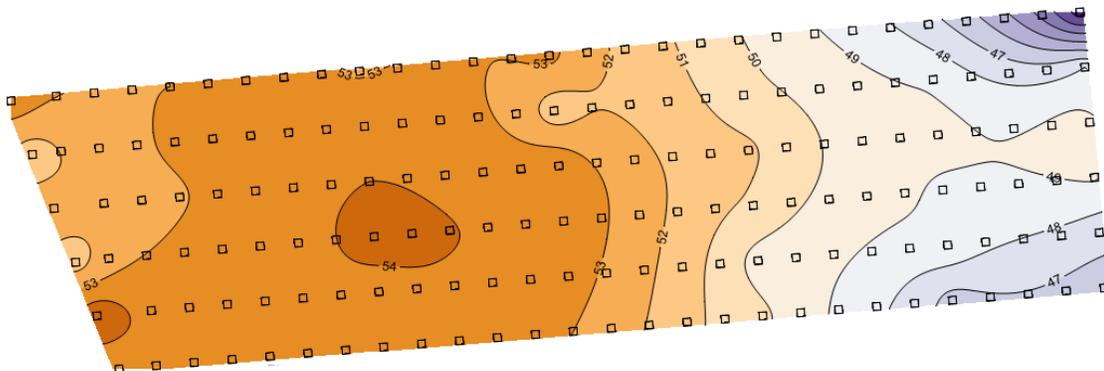
(Fuente: software Surfer)

De modo general, los valores de resistividad obtenidos indican que la estructura presenta un riesgo moderado de desarrollo de la corrosión de acuerdo con las características electroquímicas de la masa de hormigón y también se aprecia, como en las pruebas de ultrasonido, una disminución progresiva de los valores de resistividad en la vertical ascendente de la edificación; lo cual se corresponde con el estado real del acero en los

diferentes elementos estructurales de cada nivel y que se ha observado durante los trabajos de campo.

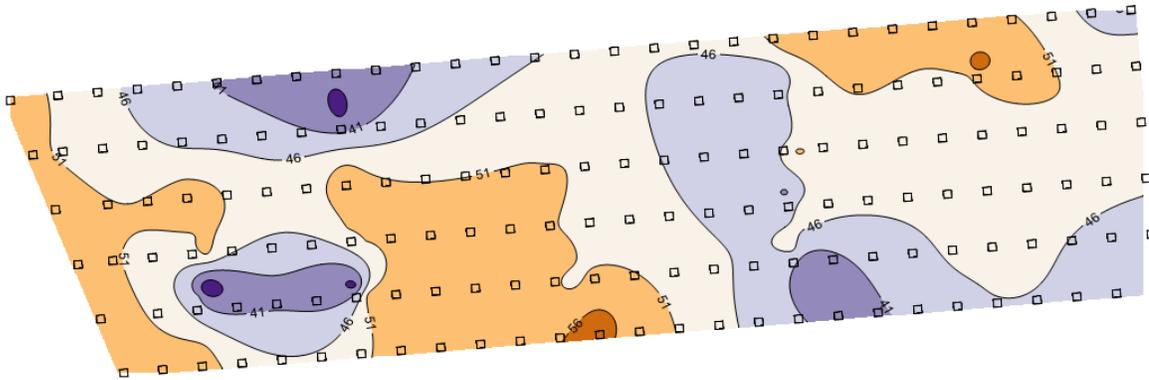


*Figura 3.33 Mapa de isótopas de resistividad eléctrica en vigas del primer nivel.
(Fuente: software Surfer)*



*Figura 3.34 Mapa de isótopas de resistividad eléctrica en columnas del segundo nivel.
(Fuente: software Surfer)*

En todos estos planos se aprecia un comportamiento homogéneo de los valores de resistividad en el tercio inferior del rango de riesgo moderado alto ($200 > r > 10$) con muy poca variabilidad, expresada en el gran espaciamiento general entre isótopas, lo que provoca un acercamiento de la estructura a las condiciones de más alto riesgo, las cuales son consistentes con el deterioro que presenta, con la baja calidad del hormigón y con el medio en que se encuentra.



*Figura 3.35 Mapa de isolíneas de resistividad eléctrica en vigas del segundo nivel.
(Fuente: software Surfer)*

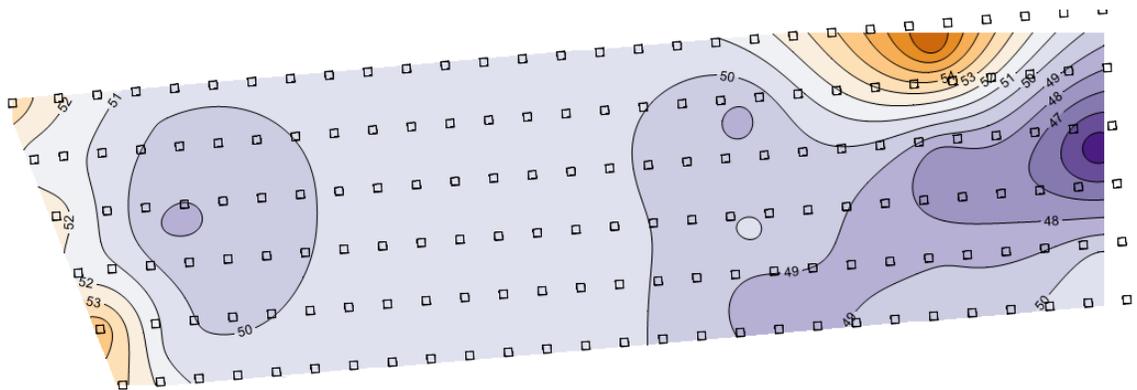


Figura 3.36 Mapa de isolíneas de resistividad eléctrica en losa de entrepiso. (Fuente: software Surfer)

En caso de la losa entrepisos las determinaciones se realizaron en puntos donde el hormigón tenía mejor calidad, no obstante, se obtuvieron los valores más homogéneos de resistividad (figura 3.36), pero siempre con valores moderados altos, con escasos puntos por encima de 50 KΩcm. Como criterio final se puede decir que la resistencia del hormigón promedio es menor a lo especificado en la RED DURAR (1997) y que lo especificado en la actual norma cubana; presentando resistencias muy bajas y no garantizando una adecuada durabilidad en un ambiente de alta agresividad ambiental. cm y casi la totalidad del área por debajo, hasta el punto de mínimo cercana a la culata Este del espigón.

Potenciales de corrosión de acero.

Al igual que en el ensayo de resistividad, el criterio de selección de las zonas de estudio, se basó en intentar caracterizar las áreas que aparentemente se encuentran en buen estado, pues las zonas dañadas por la corrosión aparecen representadas en los levantamientos patológicos y su estado es evidente. Para evaluar el riesgo de corrosión del acero a partir de las determinaciones de potencial de corrosión se proponen los criterios empleados por la RED DURAR.

Tabla 3.11 Resumen de ensayo de potenciales de corrosión de acero. (Fuente: elaboración del autor)

<i>Nivel</i>	<i>Elementos</i>	<i>Rango de valores</i>	<i>Potencial medio más desfavorable (mV)</i>	<i>Riesgo de corrosión</i>
1	Columnas	-0.274 – 0.238	-0.103	Bajo
	Vigas	-0.367 – 0.123	-0.121	Bajo
	Losa entrepisos	-0.425 - -0.003	-0.297	Moderado alto
2	Columnas	-0.496 – 0.248	-0.119	Bajo
	Vigas	-0.470 – 0.199	-0.129	Bajo

Los mapas que se muestran a continuación representan el riesgo de corrosión del acero de los elementos en función de los potenciales más desfavorables, pues son también las más desfavorables las condiciones del medio y las deficientes las propiedades del hormigón.

Se puede apreciar que los valores de menor riesgo se disponen, en general, hacia el centro de la estructura, que en la práctica son las áreas de menor influencia de los aerosoles marinos y por tanto menos contaminadas por los cloruros; quedando para las fachadas laterales los valores de potencial de mayor riesgo de corrosión, menores que -0.150 mV.

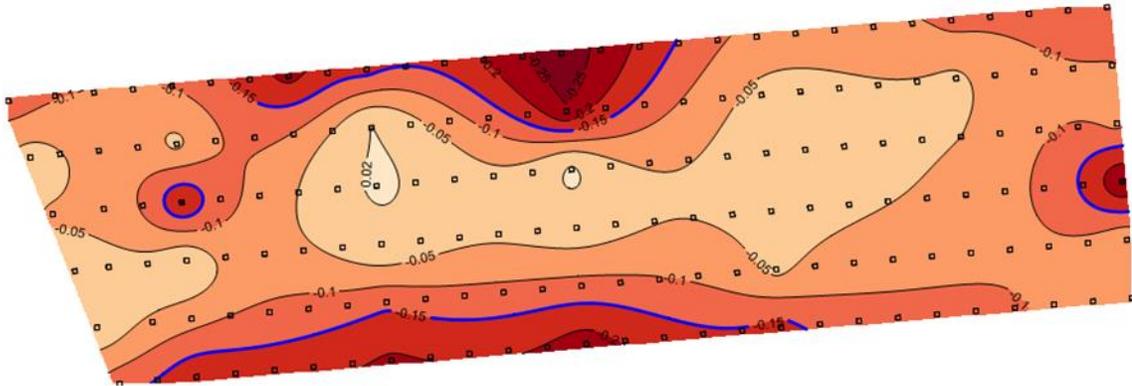


Figura 3.37 Mapa de isolíneas de potencial de corrosión en columnas del primer nivel.
(Fuente: software Surfer)

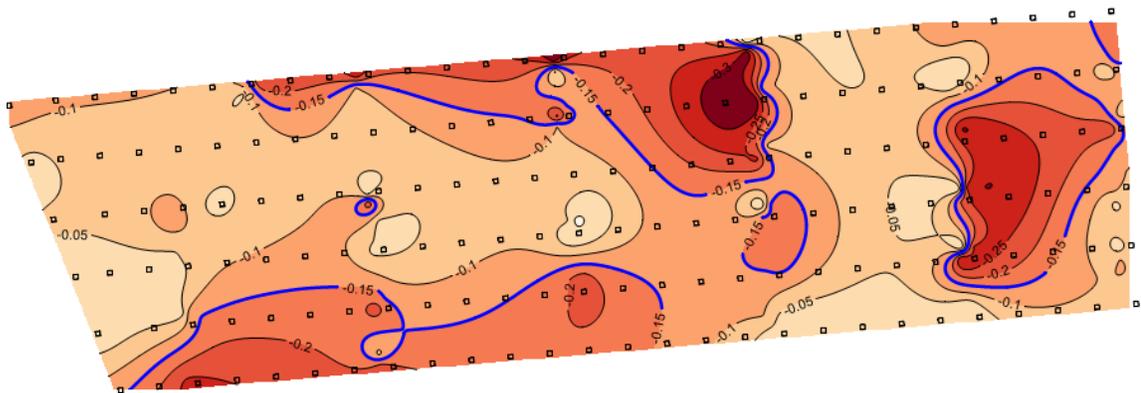


Figura 3.38 Mapa de isolíneas de potencial de corrosión en vigas del primer nivel.
(Fuente: software Surfer)

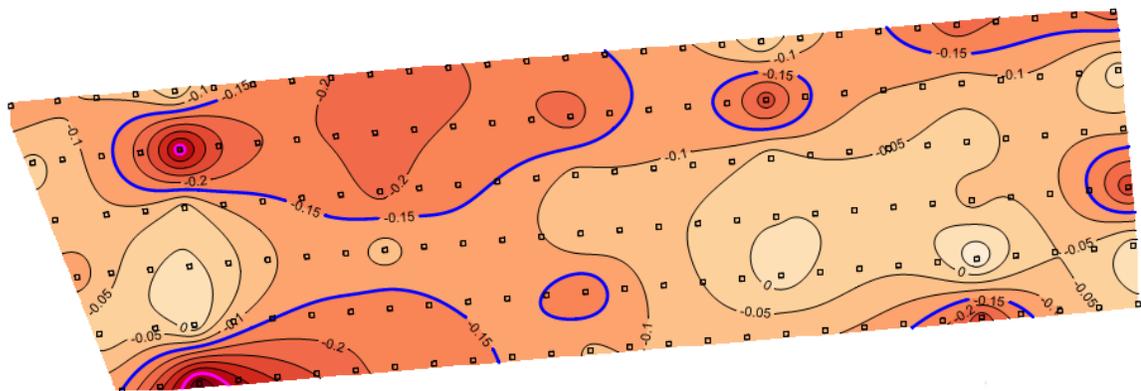


Figura 3.39 Mapa de isolíneas de potencial de corrosión en columnas del segundo nivel.
(Fuente: software Surfer)

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir de los levantamientos estructurales y patológicos y de los ensayos realizados con el fin de caracterizar los materiales, podemos afirmar que el inmueble presenta un alto nivel de deterioro producto a la corrosión de los elementos que lo conforman.

Partiendo del levantamiento estructural se pudo conocer que la mayoría de los elementos están conformados por secciones compuestas de hormigón y perfiles de acero, lo que conjuntamente con la ubicación del sitio provoca que dichos aceros estén sometidos a un estrés ambiental crítico permanente. Además de que los recubrimientos en su mayoría no cumplen lo especificado en la norma para una zona de alta agresividad atmosférica como esta.

En cuanto a los daños patológicos los mayores volúmenes de daño son por aceros expuestos y lesiones asociadas a las humedades, estas representan el 17 y 76 % respectivamente del área total de afectaciones de la estructura y el 14 y 63 % del área total útil de la edificación.

Las causas que provocaron estos deterioros son varias, combinadas y concatenadas; partiendo de la longevidad de la edificación en un medioambiente muy agresivo sin adecuadas medidas de mantenimiento, conservación y deficiencias de la cubierta, seguidos de la calidad deficiente del hormigón que permitió la entrada hasta el acero de los agentes del proceso de corrosión, hasta que dicho proceso genera la fractura y desprendimiento del recubrimiento o debilita los elementos que fallan.

Por último pero no menos importante luego de realizar el análisis a todos los resultados obtenidos a través de los diferentes ensayos para cada elemento por cada nivel, se puede concluir que en general el hormigón presenta una durabilidad baja, la calidad es deficiente, y el riesgo de corrosión es de moderado a alto, siendo más desfavorables los valores obtenidos en las fachadas o en áreas cercanas a ella y los más favorables hacia la faja central de la edificación.

CONCLUSIONES

1. La corrosión causada por los efectos electroquímicos provoca en la estructura la merma de la sección del acero, por tanto afecta la capacidad portante de los componentes estructurales y conlleva a la pérdida de adherencia entre el acero y el hormigón y a la fisuración de éste.
2. Los ensayos utilizados son ensayos destructivos o no destructivos permitieron determinar las características de los materiales que conforman el elemento ya sea hormigón o acero, mediante las herramientas informáticas se ubicaron cuantificaron las patologías; la maquinaria empleada está en buenas condiciones son precisas y bastante moderna, de lo más actual que tiene el país.
3. Se detectó un alto grado de deterioro de los elementos estructurales, en su mayoría a causa de la corrosión o medios que ayudan a la ocurrencia de ellas, debido fundamentalmente a que el hormigón tiene una calidad y durabilidad deficientes y el acero tiene un alto grado de corrosión.

RECOMENDACIONES

Se le recomienda a los especialistas del Equipo de Patología y Restauración de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas a la Construcción (InvesCons):

1. Efectuar el resto de los ensayos propuestos en el desarrollo de este trabajo de diploma para una caracterización más detallada de los materiales y elementos de la estructura.
2. Extender este estudio en los restantes espigones de la edificación y el edificio frontal.
3. Realizar un estudio de la subestructura de la construcción ya que esta es la base de toda la estructura y está sumergida en agua salada.

BIBLIOGRAFÍA

1. 2005. NC: 250. *Requisitos de Durabilidad para el Diseño y Construcción de Edificaciones y Obras Civiles de Hormigón Estructural.*
2. 2011. NC: 345. *Hormigón endurecido. Determinación de la absorción de agua por capilaridad.*
3. 2013. NC ISO 1920-7. *Ensayos al hormigón. Parte 7: ensayos no destructivos sobre hormigón endurecido.(ISO 1920-7: 2004, IDT).*
4. 2014. NC: 120. *Hormigón Hidráulico Especificaciones.*
5. 2015. NC: 724. *Ensayos del hormigón. Resistencia del hormigón en estado endurecido.*
6. 2018. *OHMCORR RM-8000 de James.*
7. 2018. *Powerful Contouring, Gridding, and 3D Surface Mapping Software for Scientists and Engineers.*
8. Broto, C., 2006. “Tratado Broto de la construcción.”
9. Díaz., O.T.d.R.A.R.d.C.C.A.P.H.I., 1997. “Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado”. Río de Janeiro, ISBN 980-296-541-3.
10. Ferrer, M., 2018. *Arquitectura Arkinetia - La historia de la Historia de AutoCAD*
11. Figueroa, M.R., 2017. *Programa de intervención para una edificación de la zona priorizada para la conservación de la ciudad de Matanzas. Caso de estudio Hotel Yara.* Pregrado. Matanzas, Cuba: Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”.
12. Helene., P.R.D.L., 1997. *Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto. .*
13. Lazo, C.A., 2016. *Plan de acción para mitigar el deterioro estructural de las tiendas de ARTEX.SA, del territorio sureste de la provincia de Matanzas.* Pregrado. Matanzas, Cuba.: Universidad de Matanzas Sede Camilo Cienfuegos.
14. Lazo, M.I.Y.J.C.M.I.C.Á., 2018. *Informe Técnico Espigón La Machina.*
15. Mingo, F.L.R.v.R.R.J.S.C.A.I.T.G.P.U.d., 2004. *Manual de patología de la edificación.*
16. Santos, J.P.J.P.I.E., *Corrosión del acero en elementos de hormigón armado: Vigas y columnas.*
17. Suárez, D.L., 2016. *Propuesta de una estrategia de intervención para erradicar las afectaciones del Palacio de Justicia de Matanzas.* Pregrado. Matanzas, Cuba: Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”.
18. Tobón, G.R.R.W.A.C.E.D., 2015. *Diseño de sistema de monitoreo remoto para evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro.*