

CARACTERIZACION DE FALLAS EN EDIFICACIONES ESCOLARES EXPUESTAS EN AMBIENTE AGRESIVO M4 DEL ESTADO FALCON

CHARACTERIZATION OF FAILURES IN SCHOOL BUILDINGS EXPOSED IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT M4 OF FALCON STATE

M. Olavarrieta¹, F. Chong², K. Ramones³, S. Garagozzo⁴, J. Sánchez⁵, E. Álvarez⁶, A. Acero⁷, L. Reinoza⁸

Recibido 21/02/2017: Aprobado: 13/05/2017

RESUMEN

El presente estudio se centró en establecer una caracterización de edificaciones de concreto armado de uso público como las unidades escolares, en la zona costera de Chichiriviche y Tucacas, en el Estado Falcón, de Venezuela, expuestas a ambientes altamente corrosivos y edificados en base a prácticas constructivas inadecuadas. La finalidad última era la de aportar recomendaciones a los organismos regionales, a fin de que pudieran hacer las intervenciones estructurales de manera más precisa y asertiva. Se realizó el estudio en siete unidades educativas, en las que se efectuaron levantamientos planimétricos, levantamiento de síntomas de fallas, ensayos en algunos miembros estructurales y finalmente una valoración general de daños que permitió identificar su durabilidad y recomendaciones particulares a cada edificación escolar. Se obtuvo como resultado que dichas unidades de diversas edades de construcción se encontraban en mejor estado de conservación, si se compara directamente con la muestra evaluada en el 2006 realizada en edificaciones multifamiliares privadas, que eran incluso más jóvenes que ésta muestra. Se recomendó para todos los casos que aplicaran un sistema de mantenimiento continuo programado y técnico, que fuese más allá de los sistemas de pinturas que cuyo sustrato no está idóneamente preparado, teniendo como consecuencia un proceso de reparación superficial y estético poco efectivo.

Palabras clave: Ambiente agresivo, fallas, corrosión, durabilidad del concreto armado

¹María Alice Olavarrieta. Docente Investigadora en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Ingeniero Civil. Correo: mariaalice@ucla.edu.ve

²Francisco Chong. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Ingeniero Civil. Correo: jf.ch.1090@gmail.com

³Karelia Ramones. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Ingeniero Civil. Correo: karelisabel@gmail.com

⁴Salvatore Garagozzo. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Ingeniero Civil. Correo: sgaragozzo07@hotmail.com

⁵Jesús Sánchez. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Ingeniero Civil. Correo: jesanchez30@gmail.com

⁶Ernesto Álvarez. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Ingeniero Civil. Correo: ernesto_a_a_l@hotmail.com

⁷Ana Acero. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Ingeniero Civil. Correo: anacero0105@gmail.com

⁸Luis Reinoza. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Ingeniero Civil. Correo: luisreinoza90@gmail.com

ABSTRACT

The present investigation focused on establishing a characterization of public used reinforced concrete constructions such as school units in the coastal zone of Chichiriviche and Tucacas in Venezuela's Falcon State, exposed to highly corrosive environments and built with inadequate construction techniques. The ultimate aim was to make recommendations to regional bodies so that they could make structural interventions more precisely and assertively. The study was carried out in seven educational units, in which planimetric surveys were carried out, the collection of fault symptoms, tests in some structural members and finally a general evaluation of damages that allowed identifying their durability and particular recommendations for each school building. As a result, these units of different construction ages were in a better state of conservation, when compared directly to the sample evaluated in 2006 in private multifamily buildings, which were even younger than this sample. It was recommended for all cases that they apply a programmed and technical continuous maintenance system, which goes beyond the systems of paints whose substrate is not properly prepared, resulting in a process of superficial repair and aesthetic ineffective.

Keywords: *Aggressive environment, failure, corrosion, durability of reinforced concrete*

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional en zonas turísticas costeras de Venezuela específicamente en el Estado Falcón, se ha incrementado en los últimos años enfocándose en la construcción de complejos habitacionales y turísticos. Se han realizado estudios en éste tipo de edificaciones, detectando altos niveles de daños inclusive a edades tempranas, lo que ha dado lugar actualmente a centrar la atención sobre las instituciones educativas de la zona cuyas edades de construcción son variables [1,2,3]. La presente investigación se centró en establecer una caracterización de edificaciones de concreto armado de uso público como las unidades escolares, en la zona de Chichiriviche y Tucacas, Para ello se evaluaron siete instituciones educativas de concreto armado, establecidas en el municipio José Laurencio Silva (Tucacas) y Monseñor Iturriza (Chichiriviche), de dicho estado, susceptibles al fenómeno de la corrosión y que según la clasificación de agresividad ambiental establecido en Fondonorma Concreto Durabilidad 4015-2012 [4], son consideradas como ambientes M4.

El mantenimiento de los centros educativos es vital para su funcionamiento, más aún en ambientes agresivos, puesto que representan instituciones que prestan un servicio básico a la sociedad. De igual forma, deben ser resistentes ante fenómenos naturales como los sismos, vaguadas o inundaciones para que puedan servir de refugios o centros de acopio si se amerita. Por estas razones, se vio la necesidad de caracterizar el estado de las instituciones educativas de concreto armado mencionadas anteriormente.

En 2006 Oropeza et al. [5] realizaron una evaluación similar a través del levantamiento de edificaciones habitacionales de uso privado, siendo en total 18 las edificaciones deterioradas

por corrosión de una muestra de 20 edificaciones, resaltando que se trataba de edificaciones jóvenes con un mantenimiento programado y periódico. Por lo tanto, si se plantea la hipótesis inicial de que éste tipo de edificaciones presentan tales fallas, es importante identificar si sucede algo similar con construcciones de concreto de uso público, así como las educativas sometidas a ambientes agresivos, pero de las cuales no se tiene una base de datos que sustente alguna intervención o asignación de recursos, por parte de los organismos competentes de manera eficiente.

Es por ello que se tomaron en cuenta edificaciones escolares que sean de concreto armado que estén ubicadas dentro de un retiro de la costa de 500,00 m para poder hacer la comparación. Se consideró un total de siete unidades educativas identificadas en la primera fase del proyecto: Escuela Básica Bolivariana Caño León, Escuela Básica Bolivariana Lizardo, Escuela Bolivariana Agua Salobre, Unidad Educativa Escuela Básica Bolivariana Próspero Agustín Ocando (bachillerato), Unidad Educativa Centro de Educación Inicial Las Delicias y en la Escuela Básica Bolivariana Próspero Agustín Ocando (primaria). Todas ellas ubicadas en Tucacas, y el Liceo Bolivariano Ramón Yanes en Chichiriviche.

2. DESARROLLO

Las estructuras de las edificaciones escolares ubicadas en la zona costera del país, especialmente en los municipios José Laurencio Silva y Monseñor Iturriza del Estado Falcón, son edificaciones educacionales y según COVENIN 1756:2001[6], se clasifican dentro del grupo A, referidas a edificaciones de carácter esencial, de funcionamiento vital en condiciones de emergencia o cuya falla pueda dar lugar a cuantiosas pérdidas humanas o económicas. A través del presente estudio se pudo conocer a través de la inspección visual, si la edificación tiene condiciones para cumplir en cuanto a las recomendaciones de la normativa vigente, haciendo un aporte a la línea de investigación de durabilidad de edificaciones de concreto armado ubicadas en ambientes marinos, desarrollada en el Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado contenida en el proyecto titulado “Caracterización de edificaciones de concreto armado expuestos en ambientes marinos según lo establecido por la propuesta de Norma Técnica Fondonorma, Concreto Durabilidad para Iberoamérica” [7].

La durabilidad de las estructuras de concreto armado en ambientes corrosivos como el marino se ve altamente comprometida, debido a que la presencia de agentes agresivos disminuye la vida útil propuesta en el proyecto original. Por lo que es importante resaltar, la importancia de usar estrategias que disminuyan la acción de dichos agentes presentes en el medio que rodea a

la estructura, empleando técnicas que incluyen el uso de aditivos inhibidores de corrosión y materiales suplementarios al cemento, varillas con recubrimiento epóxico (VRE) y pre-tratamiento superficial con un agente hidrófobo; obteniendo como resultado mayor eficacia en algunos métodos que en otros. En este trabajo se aprecia el uso de materiales diferentes o no convencionales que buscan solventar la agresividad sobre estructuras ubicadas en ambientes agresivos” López H, y otros [8].

Bernal [9] trabajó sobre la “Durabilidad en estructuras de concreto armado localizadas frente a la costa” destacando los daños a los que está expuesta cualquier estructura pudiéndose clasificar en forma muy general en dos grupos: daños de carácter mecánico, y daños de carácter químico. Esta tipificación se realiza tomando como referencia la principal influencia que tienen las degradaciones del acero y del concreto que lo recubre en las estructuras, sin embargo, es pertinente tener siempre presente que la relación entre los dos es muy íntima. Por lo que, el análisis y diseño estructural de los especialistas se ve perjudicado, en su afán por alcanzar el objetivo de seguridad estructural, ya que no se obtienen los valores finales inicialmente planeados. Además, es importante señalar que las edificaciones localizados en la costa, afectados por las condiciones anteriormente señaladas, sufren deterioros y por ende, pérdida de valor que afecta la economía de los propietarios.

Oropeza et al. [5] se enfocaron en el hecho de que en los últimos años se ha observado un crecimiento vertiginoso en el sector de la construcción en las costas venezolanas, especialmente en el eje Boca de Aroa-Tucacas, lo cual ha despertado un gran interés por indagar aún más acerca de técnicas y tecnologías asociadas en cuanto a estas construcciones se refiere. Conociendo que la corrosión de las armaduras es la causa principal del deterioro de las estructuras, surgió la necesidad de caracterizar las principales fallas por corrosión en edificaciones multifamiliares de concreto armado expuestas en ambientes marinos. Se realizaron dos tipos de inspecciones, denominadas inspección preliminar e inspección detallada, obteniéndose que el 90% de las edificaciones observadas presentaron daños por corrosión, resultando ser las fallas con mayor frecuencia de aparición: la disminución de la sección del acero con un 30%, seguida por la pérdida de recubrimiento con un 25%, y las grietas con 21%. De esta forma se obtuvo que el elemento que presentó más fallas sean las vigas con un 45%.

En otro estudio realizado, se caracterizaron las principales causas de fallas por corrosión en edificaciones turísticas de uso habitacional ubicadas a los primeros 50,00 m de resguardo de la costa de Tucacas, Estado Falcón, identificadas con el antecedente anteriormente presentado

[10]. Para ello se siguió un diseño de investigación, que básicamente contó de inspecciones preliminares, detalladas y ejecución de ensayos no destructivos, tales como: ultrasonido, esclerómetro, carbonatación, determinación de porcentaje de ión cloruro en el concreto, estimación de la resistividad del concreto, medición del potencial eléctrico y de la velocidad de corrosión, en vigas y columnas de las áreas comunes pertenecientes a las 6 edificaciones que conformaron la muestra en estudio.

En los ensayos realizados se obtuvo que el agente desencadenante del proceso corrosivo fue la penetración del ion cloruro, y que la principal causa de estas fallas fue la calidad inadecuada del concreto con un 34% de incidencia, seguido de las bajas resistencias a la compresión (característica de concretos porosos) con 33%, y por último, pero no menos importante, el bajo espesor de recubrimiento con un 20%. El conocer las causas que originan el problema permitirá definir a futuro los criterios de actuación, tanto a nivel preventivo como a nivel de las reparaciones y programas de mantenimiento, que ayuden a preservar el buen estado de las estructuras durante el tiempo para el cual fueron diseñados. Estas investigaciones regionales realizadas en edificaciones multifamiliares de concreto armado de uso privado habitacional en la costa del Estado Falcón, son la base que estableció este estudio para determinar la calidad de las edificaciones escolares públicas.

3. METODOLOGÍA

La estimación de la población para esta investigación se orientó hacia las edificaciones escolares construidas en concreto armado expuestas atmosféricamente al mismo ambiente costero del Estado Falcón, clasificado como M4. También, debido a que en esta entidad es donde se encuentra la mayor agresividad hacia el acero de refuerzo, por efectos del ion cloruro y temperaturas según el mapa de corrosividad atmosférica del Centro de Estudios de Corrosión de La Universidad del Zulia [11]. En ese sentido se obtuvo la data de los planteles educativos del Estado Falcón suministrada por el director de la Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas (FEDE), para un total de 1288 escuelas que incluyen a los centros de educación inicial, primaria, bachillerato y las escuelas técnicas siendo éstas estructuras de concreto armado, acero o mixtas.

La entidad cuenta con 25 municipios, y 14 están ubicados en la costa los cuales se consideraron como población con características ambientales similares al objeto de estudio, siempre que cumplieran con la configuración estructural establecida, y la ubicación geográfica. En la Tabla 1 se observa la distribución geográfica en las escuelas y liceos tomados como muestra de estudio [12].

Tabla 1. Listado de las Edificaciones Escolares del Estado Falcón. Censo hasta 2013. Fuente: [12]

Municipio	Parroquias	N° de Escuelas
Acosta	2	33
Buchivacoa	6	124
Carirubana	5	130
Colina	5	43
Falcón	10	90
Los Taques	2	33
Mauroa	3	57
Miranda	8	183
Monseñor Iturriza	2	21
Piritu	2	39
José Laurencio Silva	2	38
Tocopero	1	16
Urumaco	2	38
Zamora	4	59

Se obtiene un total de 14 municipios costeros, que suman 904 escuelas de las cuales no se obtuvo información más precisa en cuanto a su ubicación atmosférica con respecto a la costa, así como los materiales de construcción que la componen, es por ello y dado que los municipios Monseñor Iturriza (Chichiriviche) y José Laurencio Silva (Tucacas) son los que se encuentran más cercanos a la zona de influencia de los investigadores para efecto de traslado, que se seleccionaron esas 59 escuelas como población de este estudio. La muestra se estimó por muestreo aleatorio simple, cuando los elementos que la conformaron tienen igual probabilidad de ser seleccionados, obteniéndose un valor de 38 escuelas. Utilizando la tabla de clases de exposición relacionadas con las condiciones ambientales de la norma de Fondonorma Concreto Durabilidad 4015-2012 [4], y partiendo de allí se estimaron las consideraciones a tomar en cuenta para proyectos nuevos o futuras adecuaciones que se tengan a bien hacer.

Durante las visitas de reconocimiento, se obtuvo información general para las siete unidades escolares, teniendo para cada una la información detallada de la siguiente manera: a) información general de la estructura: nombre, dirección, edad, tipo de estructura y N° de niveles; b) fecha de inspección; croquis general de la estructura, identificando el norte, ubicación del mar y dirección del viento, c) memoria fotográfica donde se identifique la estructura en estudio, descripción de las fallas observadas, d) definición de la extensión y gravedad de las fallas.

Para el levantamiento de sintomatología de fallas específicamente se realizaron planillas que

contenían la siguiente información para cada Unidad Educativa: a) nombre de la edificación, b) tipo de elemento en estudio, c) subsistema, d) ubicación del elemento respecto a los ejes estructurales, e) croquis de la estructura ubicando el elemento inspeccionado, f) memoria fotográfica donde se demuestre la sintomatología de falla del elemento inspeccionado, g) descripción de la falla definiendo la extensión y gravedad del daño, y h) planteamiento de las posibles causas que originan las fallas observadas (hipótesis).

Se procedió a hacer el análisis de los miembros estructurales primarios, compuesto por las columnas y vigas.

- Sistema: particiones por módulos que faciliten la inspección por separado de cada una de las unidades educativas. Al tener los módulos se realizó igualmente por partes el levantamiento de los planos, identificando las dimensiones de los elementos ya que no se contaba con ello para ningún caso.
- Subsistemas: Diferenciando los elementos que soportan carga estructural, los cerramientos, las cubiertas, áreas comunes y elementos perimetrales como las aceras. Para cada subsistema se identificó la falla o problema haciendo comparaciones con lo que establecen las normas o recomendaciones, como las pendientes de techo o cubiertas, existencia de goteros, mantenimientos de las impermeabilizaciones y sistemas de drenaje. Así como de las instalaciones sanitarias, presencia de fisuras, grietas o rajaduras en paredes o elementos estructurales.

Una vez obtenida la información de cada unidad educativa, se utilizaron las planillas recomendadas en el manual Durar [13], en este artículo se hará referencia de los resultados más resaltantes que conllevan a las recomendaciones. Así mismo, se hace un contraste siempre referido a lo que la Fondonorma [4] establece dada la clasificación del ambiente, como lo estipula la tabla de valores límites recomendados para la composición y propiedades del concreto

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de la Unidad Educativa Escuela Básica Bolivariana Próspero Agustín Ocando

Se encuentra ubicada en la Calle Miranda del Sector Las Delicias, en Boca de Aroa, Estado Falcón, aproximadamente a 290,00 m de la costa; no se le ha realizado ningún tipo de mantenimiento preventivo o correctivo en los últimos 5 años. Abarca un área aproximada de construcción de 977,68 m² y por lo extenso de la misma, la variedad de sistemas

constructivos, uso e historia y los diferentes ambientes que conforman la edificación, se dividió en 5 módulos de distintas características.

En la Figura 1 se aprecia la fachada lateral de uno de los módulos de la Unidad Educativa. Entre las principales fallas observadas en la edificación se encontró: humedad y eflorescencias, grietas, fisuras, pérdida de recubrimiento de concreto, exposición y delaminación del acero en el concreto. Con respecto a los módulos 1 y 2, fueron construidos en 1967 siendo de mampostería confinada y dejó de usarse en el año 2000, realizándose diversas intervenciones desorganizadas como: demoliciones de losa de piso, modificación de las puertas y sus alturas, construcción de paredes divisorias que lo han afectado en su estabilidad.



Figura 1. Fachada Lateral Módulo 5 Unidad Educativa Escuela Básica Bolivariana Próspero Agustín Ocando. El módulo 3 construido en el 2003 es una estructura cuyo techo está adosado sobre los módulos 1 y 2. El módulo 4 ejecutado en 1988 era el comedor que dejó de usarse en el 2012, sufriendo intervenciones como demolición de losa de piso, paredes y ventanas. A continuación, se presentan imágenes en las Figura 2 correspondientes a las fallas observadas.

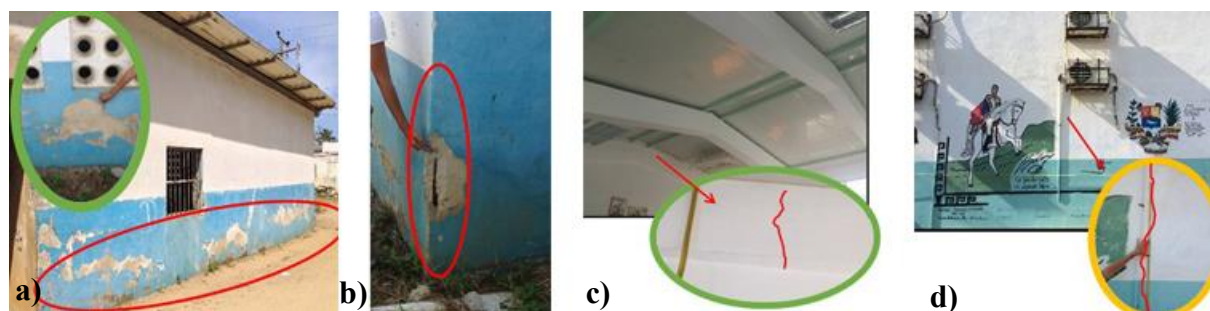


Figura2. Fallas observadas: a) Humedades y desprendimientos de friso en fachadas, b) Desprendimiento del recubrimiento y delaminación del acero en columna, c) Grieta transversal en viga, d) Grieta transversal en el centro del cerramiento

A través de la Tabla 1 se resumen los elementos ensayados y sus resultados para complementar la caracterización correspondiente a la unidad educativa. Estos ensayos dan

cuenta sobre la inadecuada calidad del concreto, que está por debajo de las resistencias requeridas para un diseño resistente o durable. Así mismo, la concentración de cloruros en la mezcla es elevada, lo que trae como consecuencia fallas evidentes o inminentes por aparecer como grietas, sangrado, corrosión y fallo del elemento estructural.

Tabla 1. Elementos ensayados y resultados en la Unidad Educativa Escuela Básica Bolivariana Próspero Agustín Ocando

Elemento	Ubicación	Ubicación	Ensayo	Resultado	Observación
Columna	Módulo 3	B ₂ -1	Resistencia a Compresión	208,00 kg/cm ²	Baja
			Porosidad Aparente	18,99	Durabilidad Inadecuada
Columna	Módulo 3	B ₃ -3	Resistencia a Compresión	80,00 kg/cm ²	Baja
			Porosidad Aparente	23,18 %	Durabilidad Inadecuada
Columna	Módulo 1	E3-3	Cloruros	0,70 %	Elevada concentración
			Resistencia a Compresión	105,00 kg/cm ²	Baja
Columna	Módulo 1	C ₁ -8	Porosidad Aparente	23,67	Durabilidad Inadecuada
			Resistividad Eléctrica	70,75	Riesgo moderado de corrosión

Finalmente se puede establecer en porcentajes las siguientes caracterizaciones en esta unidad educativa, una mayor frecuencia de fallas es la humedad con 39,53%, seguida por rajaduras de origen estructural con un 28,29%. Debido a estos valores se presume que la problemática actual de la estructura en estudio se debe a errores durante la etapa de proyecto o durante la etapa de ejecución por tanto se recomienda en los módulos 1, 2, 3 y 4, hacer la canalización de aguas superficiales, mediante sistemas de drenajes eficientes, y en el módulo 5 la reconstrucción de las aceras perimetrales, con una pendiente necesaria, de manera que se pueda evitar el estancamiento de agua en contacto con los cerramientos.

4.2. Caracterización de la Unidad Educativa Centro de Educación Inicial Las Delicias

La edificación se encuentra ubicada en la Calle Miami del Sector Las Delicias, Boca de Aroa, Estado Falcón, aproximadamente a 100,00 m de la costa. Atiende una población escolar de 90 estudiantes y 3 profesores. Se conoce que, en el año 2009 movimientos telúricos de la zona de Boca de Aroa, con epicentro en Morón afectaron su estructura. La unidad educativa abarca un área aproximada de construcción de 193,07 m², se trata de una edificación de concreto armado, construida en el 2001, momento desde el cual presta servicios como complejo educacional.

El sistema constructivo usado en el levantamiento de la edificación en estudio, es de pórticos de concreto armado. La losa de piso que conforma la estructura se encuentra formada por concreto pulido. No se observan técnicas de mantenimiento o reparación, preventivo o

correctivo. Muy cercana a la edificación, específicamente a 9,60 m, se observa la presencia del árbol de “uvas de playa” (*Coccoloba uvifera*). No existe un sistema de drenaje de aguas de lluvia en la estructura, y el personal manifiesta la existencia de inundaciones en los bordes de la acera perimetral de la estructura en estudio. En la estructura se plantea un solo tipo de sistema constructivo y se estudió como un sistema o módulo único.

En la Figura 3 se observa la fachada principal de la Unidad Educativa Las Delicias. Las principales fallas observadas durante la inspección fueron: humedad en las paredes perimetrales, grietas y fisuras de elementos estructurales, eflorescencias en la parte inferior de las paredes. Resalta un desprendimiento del concreto por corrosión acero en la fachada principal en la columna B-11, sobre la cual se debe intervenir ya que su distancia a la costa es menos de 50,00 m. Se presentan seguidamente imágenes que representan las fallas que se mencionadas (ver Figura 4). En esta institución no se realizaron ensayos sobre los elementos estructurales.



Figura 3. Fachada principal de la Unidad Educativa Las Delicias



Figura 4. Fallas observadas: a) Presencia de grieta transversal inferior en la viga de carga del techo, b) Grieta transversal en la losa de piso perimetral, c) Presencia de humedades en color oscuro en paredes perimetrales

Considerando los resultados del análisis de la estructura, se evidenció, la falla que más surge es la de rajaduras por orígenes estructurales con 45,59%, debida principalmente a movimientos del suelo de fundación, por ello se recomienda la realización de un estudio de suelo exhaustivo en la zona, que permita determinar con certeza cuales son los movimientos

que presenta el suelo de fundación. Para la Unidad Educativa Centro de Educación Inicial Las Delicias la mayor cantidad de fallas provienen de errores cometidos durante la concepción del proyecto o la construcción del mismo. Restándole parcialmente importancia a las fallas originadas por corrosión para este caso en específico.

4.3. Caracterización de la Escuela Bolivariana Agua Salobre

La Escuela Básica Bolivariana Agua Salobre, se encuentra ubicada en Tucacas, dentro del área del Parque Nacional Morrocoy a 100,00 m de la franja costera, en la población de Agua Salobre. Esta institución educativa fue construida por etapas, la primera se ejecutó en el año 1992, y en total cuenta con 1140,00 m² de terreno cercado con una pared de bloques de concreto, y 365,00 m² de construcción distribuida en 4 módulos:

- Módulo 1: con 254,00 m², dividido en tres salones, conformado por columnas y vigas de perfiles I de acero estructural, el mismo se excluyó de este estudio por no ser una estructura de concreto armado, fue la primera etapa en construir en el año anteriormente mencionado.
- Módulo 2: de 55,20 m², donde funcionó el comedor de la institución, su estructura es aporticada de un solo nivel y losa maciza de 15,00 cm como cubierta de techo, columnas de 20x20 cm y vigas de 20x35 cm, este se encuentra actualmente en desuso debido a su avanzado deterioro estructural, fue construido en el año 2002.
- Módulo 3: edificado en el mismo año que el anterior, consta de la batería de baños con 18,30 m², estructura aporticada de solo un nivel, columnas de 20x25 cm, vigas de 20x30 cm y losa de techo de tabelones.
- Módulo 4: en construcción desde el año 2012, donde se tiene previsto el funcionamiento del comedor de la institución, el avance constructivo de este módulo actualmente consta de fundaciones, losa de piso y columnas de 22x22 cm a 2,80 m de altura y posee un área de 37,50 m². Cabe destacar, que los elementos estructurales de concreto armado de los distintos módulos no poseen revestimientos cerámicos, solo friso y pintura.

En la Tabla 2 se resumirán los elementos ensayados y resultados de la Escuela Básica Bolivariana Agua Salobre

Tabla 2. Elementos ensayados y correspondientes resultados de la Escuela Básica Bolivariana Agua Salobre

Elemento	Ubicación	Ensayo	Resultado	Observación
Columna	Comedor	Resistencia a compresión	85,42 kg/cm ²	Baja
	C2	Porosidad Aparente	18,34%	Durabilidad Inadecuada
Columna	Comedor	Resistencia a compresión	118,86 kg/cm ²	Baja
	D2	Porosidad Aparente	21,08 %	Durabilidad Inadecuada
Columna	Módulo de baños	Resistencia a compresión	104,24 kg/cm ²	Baja
	K9	Porosidad Aparente	23,75 %	Durabilidad Inadecuada

Como puede observarse en los resultados de los ensayos realizados, las características mecánicas de los materiales no son las idóneas para el tipo de ambiente al que se encuentran expuestas las estructuras, en este sentido la norma NTF 4015-2012 Concreto Durabilidad [4] sugiere que para estructuras expuestas a un ambiente marino M4 (elementos ubicados de 5,00 a 500,00 m de la franja costera) se debe componer el concreto con una relación a/c máxima de 0,45 y un contenido de cemento de 380,00 kg/m³. Así mismo, se refiere que se puede comparar con la calidad de los materiales establecida en la norma 1753-2006 en su tabla 7.2.4 [14], donde se establece que para estructuras expuestas a ambientes marinos la resistencia a compresión del concreto debe ser mínimo de 300,00 kg/cm².

Comparando con las resistencias obtenidas en cada módulo, se evidencia que las mismas están muy por debajo de lo especificado, a pesar que las extracciones de núcleo realizadas no siguieron una metodología científica de muestreo, se considera que las mismas representan la calidad del material de cada módulo, esto debido a que estas estructuras son pequeñas, y es más que probable que se hayan realizado en vaciados continuos. En cuanto a la porosidad obtenida, concuerda con la apariencia del concreto el cual se apreciaba con macro poros en muchas zonas, al evaluar los resultados se refleja esta realidad, en el caso del módulo que se encuentra en construcción y que será destinado a suplantar el antiguo comedor, las porosidades evidenciaron valores de 18,34% y 21,08% estando notablemente por encima de lo que establece la norma NTF 4015-2012 Concreto Durabilidad [4] en la cual se indica que concretos con porosidades mayores al 15% son totalmente inadecuados desde el punto de vista de durabilidad.

Se evidencia que el proceso destructivo ha sido originado por corrosión, aunado a los diferentes errores constructivos como los son poco espesor de recubrimiento comprendido

entre 1-2 cm y al posible uso del agua de la localidad en la mezcla de concreto, la cual contiene altos contenidos de cloruros como se evidenció en el ensayo realizado a la misma, además se observó en algunos elementos estructurales malas prácticas constructivas, que generaron oquedades y exposición de acero.

En el antiguo comedor de la edificación se sugiere intervenir para recuperar la capacidad resistente de los elementos afectados, como medida más urgente se sugiere el apuntalamiento de la vigas de los ejes 5 y H con el fin de descargar la columna afectada, también es necesario desvincular el apoyo generado por la edificación adyacente (módulo 1) ya que la misma se apoya justamente en la losa de techo sobre la columna afectada, así mismo al módulo de los baños se recomienda reparar los elementos afectados por el proceso corrosivo en los principales elementos que componen los sistemas y subsistemas. Y en el nuevo comedor antes de continuar con la construcción, reparar de forma correcta los daños evidenciados en la sintomatología de falla productos de la corrosión.

4.4. Caracterización del Liceo Bolivariano Próspero Agustín Ocando

El Liceo Bolivariano Próspero Agustín Ocando, ubicado en el municipio Silva, en la población de Boca de Aroa, sector Las Delicias, se encuentra a 270,00 m de la línea costera. En la Figura 5 se puede apreciar la fachada de uno de los módulos. Este liceo aun cuando está en un ambiente altamente corrosivo, algunas fallas presentadas no tienen como origen la corrosión, esto se puede asegurar debido a las características que presentan las fisuras de los elementos estructurales estudiados. Esta estructura ha sido vulnerada por los procedimientos constructivos empleados, se puede apreciar que la mayoría de fisuras se presentan en elementos secundarios como cerramientos y la losa de piso del ala oeste de la edificación.



Figura 5. Fachada del Liceo Próspero Agustín Ocando

Al hacer la sustitución del techo de asbesto-cemento por una losa de concreto aligerada armada en una dirección, se pudo notar que el estado en que se encuentra el ala oeste de la

estructura donde se ubican las aulas no presentan casi daños con motivo a esa intervención, solo casos muy puntuales de dos columnas donde se evidenció una posible falla por corrosión (columna A'-13) y otra que presentó fisuras características por acción de un sismo (columna A'-12). En ese mismo módulo se observó en las losas de piso de todos los salones fisuras probablemente se deban a la retracción del concreto al momento del vaciado, ya que no se aprecian juntas en las mismas, siendo esto una práctica perjudicial ya que no se da control a las deformaciones plásticas del concreto durante su proceso de fraguado. A continuación, se presentarán imágenes que dan cuenta de manera general del estado del módulo 1 que se encuentra en remodelación (ver Figura 6)



Figura 6. a) Apariencia de la Losa nervada colocada recientemente, b) Agrietamiento generalizado de la viga en la Losa nervada colocada recientemente, c) Práctica inadecuada de relleno de oquedades

74 La tabla 3 presenta un resumen de los elementos estructurales ensayados del Liceo Próspero Agustín Ocando.

Tabla 3. Elementos estructurales ensayados del Liceo Próspero Agustín Ocando

Elemento	Ubicación	Ensayo	Resultado	Observación
Columna	Laboratorio E'-8'	Potencial eléctrico	-379,15	90 % de probabilidad que exista corrosión en el acero
Columna	Biblioteca E'-11'	Ultrasonido	2080,43	Se refiere a un concreto normal
Columna	Biblioteca E'-11'	Esclerometría	20,5	Dureza superficial 110 kg/cm ²

Según los resultados obtenidos por estos ensayos se denota que puede existir un proceso corrosivo en desarrollo que todavía no se ha evidenciado en síntomas, esto debido a que la valoración del ensayo de potencial para la columna mostrada indica que se encuentra en un riesgo alto de ataque por corrosión. Se evidencia la diferencia entre las lecturas realizadas en este elemento y las de la anterior escuela donde los valores llegaron a alcanzar inclusive los -500 mV, esto se debe tener muy en cuenta ya que en un futuro cuando la corrosión se desarrolle comiencen a mostrarse los síntomas y aparezcan las fisuraciones.

En cuanto al ensayo de ultrasonido, se puede observar como en la parte superior del elemento donde se encuentra la sección original los valores están por debajo de 2000 m/s, lo que indica que la calidad del concreto no es la adecuada, en la parte inferior se observa como las lecturas están muy cerca del límite inferior entre un concreto de mala calidad y un concreto normal de 2001 m/s, esto nos da la idea de que la valoración está arrojando que es un concreto de calidad normal debido al recrecido que pudo mejorar la lectura del equipo.

Es por ello que analizando las fallas observadas se puede decir que las mismas han tenido su origen en procedimientos constructivos inapropiados, trayendo como consecuencia el agrietamiento de elementos primarios y secundarios como el caso de vigas, columnas, losas de piso, de techo y cerramientos, especialmente en el módulo de la biblioteca donde se vació recientemente la losa de techo. En este liceo se recomienda realizar una inspección por parte del ente competente que genere un informe técnico donde se evidencie el mal estado en que se encuentra el módulo de biblioteca, y se tomen las acciones necesarias para subsanar el daño causado. Por otra parte, antes de continuar con la construcción de la losa de techo faltante en el módulo 1, proceder con la reparación del mismo según la recomendación de especialistas en la materia.

4.5. Caracterización del Liceo Bolivariano Ramón Yanes

El liceo Bolivariano Ramón Yanes está ubicado en el Municipio Monseñor Iturriza, sector La Playa Norte entre Avenida Costanera con Avenida Playa Norte, tiene 35 años de construcción, para facilitar el levantamiento se dividió en 9 módulos. Durante la inspección realizada se pudieron identificar las siguientes fallas: a) manchas de humedad y presencia de hongos en los bordes de losa y nivel inferior de paredes, b) grietas longitudinales al acero de refuerzo, c) desprendimiento de concreto, d) pérdida de la sección del acero de refuerzo, y e) grieta por sismos. En la Figuras 7 se aprecia las fallas antes mencionadas.

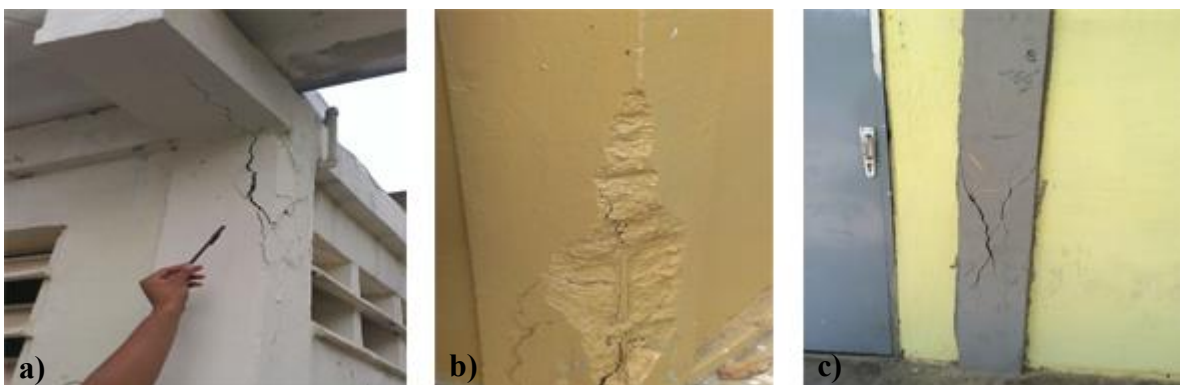


Figura 7. Fallas observadas: a) Fisuración de la junta viga columna, mayor de 1,5 cm en el módulo, b) Desprendimiento del recubrimiento y delaminación del acero en el módulo 4, c) Grietas en forma de equis en el primer tercio de la columna y Abombamiento del concreto en la zona del módulo 8

El Liceo Bolivariano Ramón Yáñez tiene módulos muy deteriorados entre otros por afectación del sismo del 2006, así como también la aplicación incorrecta del poco mantenimiento al que ha sido sometido, donde resalta la colocación de revestimientos de pintura sobre elementos corroídos y la omisión de intervenciones a tiempo ante fallas que se evidenciaron durante la inspección. Esta institución requiere atención prontamente, debido a las fallas detectadas en los miembros estructurales por efecto de esfuerzo cortante, falla en la losa de piso por junta de dilatación, manchas de humedad y presencia de hongos, presencia de grietas por sobrecarga, pérdida de recubrimiento del acero y delaminación del mismo, grietas longitudinales en dirección del acero.

En el Liceo Bolivariano Ramón Yáñez se recomienda, hacer una intervención de emergencia debido a la falla por sismo o cortante presentada en la columna en donde se recomienda apuntalamiento y desalojo del módulo 8, además de convocar a los bomberos y protección civil para que de otras recomendaciones que consideren necesarias. Así mismo, se considera oportuno mencionar que cuando se apliquen los revestimientos de pintura que se detectó hacen con cierta frecuencia, las mismas deben aplicarse previa preparación o reparación de las superficies quedando evidente su colocación de manera inadecuada sobre elementos agrietados y corroídos.

4.6. Caracterización de la Escuela Básica Bolivariana Lizardo

La edificación se construyó hace 9 años, en el Sector Lizardo, calle principal del Municipio José Laurencio Silva y se dividió en 4 módulos para hacer el levantamiento. Se observaron las siguientes fallas particularmente, manchas de humedad, presencia de hongos, exposición del acero de refuerzo e intervenciones anteriores no culminadas. En la Figura 8 se aprecia la presencia de humedad.



Figura 8. *Humedad de las paredes de la escuela Bolivariana Lizardo*

En función a la ubicación con respecto al mar, ésta escuela de 9 años de construcción se

encuentra en un estado de conservación muy adecuado, ya que las fallas son por problemas de notorias y profundas por corrosión por la clasificación ambiental M4. Debido a la presencia manchas de humedad y de hongos, así como las intervenciones sin terminar o mal realizadas, las instalaciones deficientes en la parte del desagüe de los equipos de aires acondicionados, se recomienda aislar los arranques de las cabillas que están en la losa de techo del módulo 2, para evitar el desarrollo de la corrosión interna de dicha losa por efectos de la celda de aireación diferencia, así como corregir la causa de las humedades ya que las mismas tienen a facilitar el ingreso de iones cloruro a la matriz del concreto.

4.7. Caracterización de la Escuela Básica Bolivariana Caño León

Esta escuela al igual que la anterior tiene 9 años de construcción y puesta en funcionamiento, está en la calle principal del sector Caño León del Municipio Monseñor Iturriza, durante la inspección previa se observó que la estructura presenta las siguientes fallas, manchas de humedad, presencia de hongos, acumulación del agua, y falla en drenaje. En la Figura 9 se aprecia la manera como el agua se acumula en la acera perimetral del módulo 3. Esta edificación presenta problemas y en consecuencia fallas que son por detalles de construcción y proceso mal concluidos, por el contrario, fallas por la corrosión de sus refuerzos no se apreciaron.

En resumen lo que se observa es principalmente el estancamiento de agua, falla en drenajes, y manchas de humedad y hongos. Por lo tanto, se recomienda realizar labores de mantenimiento y limpieza que permitan que la basura no se acumule en la tanquilla del alcantarillado, ya que en la época de lluvia se presentara una inundación localizada muy perjudicial para los cerramientos, así mismo sería conveniente corregir la pendiente invertida de la acera perimetral del módulo 2.



Figura 9. *Acumulación del agua en el borde de la acera del módulo 3*

5. CONCLUSIONES

La investigación presentó como limitación principal, que la cantidad de ensayos esté por debajo del rigor de la muestra estadística debido a sus costos y la logística que esto representa. Así mismo, el personal directivo de las instituciones educativas en estudio no permitió realizar durante las inspecciones, ensayos destructivos de la estructura, que pudieran determinar las características del concreto, en pro de la conservación de la estética de los elementos. Por ello solo se evaluaron de manera destructiva algunos elementos estructurales.

Aunado a esto, está el acceso al elemento en estudio, como también la necesidad de un apuntalamiento y buen arriostamiento del equipo extractor por lo que sólo se evaluaron algunos elementos que estuvieran cercanos a paredes para que el equipo de extracción de núcleos estuviera estable para su uso; lo cual limita la cantidad de elementos que tengan apoyos cercanos. Por otro lado, la ubicación geográfica y el limitado recurso humano incrementaron las dificultades para el levantamiento de una mayor cantidad de estructuras. Sin embargo y con estas limitaciones se consideró importante tomar en cuenta los resultados de los ensayos, que pueden mostrar características importantes de los materiales utilizados en la ejecución de dichas obras.

Por otro lado, observando que las consideraciones allí establecidas no se tomaron en cuenta para el proyecto, diseño y construcción de las escuelas que además son de diversas edades que van desde 9 años hasta más de 40 años, pueden ser intervenidas a tiempo, con proyectos de rehabilitación o reparaciones particulares que les permitan extender la vida útil y con ello garantizar el desarrollo de las actividades académicas y sociales que se puedan generar a beneficio de sus usuarios y habitantes de la zona. Es requerido para ello el estudio técnico y estructural a profundidad de cada detalle a ser reparado, así como el impacto económico que esto tendría si se compara con edificaciones diseñadas con los requisitos exigidos por dicha norma.

Finalmente a los organismos competentes como la Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas (FEDE Falcón), Alcaldía de José Laurencio Silva o la Gobernación del Estado Falcón, se exhorta que lleven a cabo las inspecciones técnicas y de seguridad en planteles educativos. Realizados estos por personal capacitado y de manera periódica, ya que un edificio tiene una vida útil siempre y cuando se le realice el mantenimiento. Es recomendable aplicar un plan de inspección al menos cada año, en el cual revise la estructura, ya que no solo pueden ocurrir daños por la corrosión sino también pueden surgir derrumbes por sobrecarga, efectos de corte y asentamiento o simplemente por la edad y uso de la estructura.

6. RECONOCIMIENTO

Este trabajo es producto del proyecto de investigación titulado: “Caracterización de edificaciones de concreto armado expuestas en ambiente marinos según lo establecido por la propuesta de norma técnica Fondonorma concreto durabilidad para Iberoamérica”, código CDCHT 002-IC-2013 registrado en El Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA), bajo el código 001-IC-2013

7. REFERENCIAS

- [1] A. Acero, L. Reinoza y M. Olavarrieta, Levantamiento de las principales fallas en edificaciones escolares de concreto armado del estado falcón y su caracterización según la norma 4015:2012 “concreto durabilidad”, Trabajo Especial de Grado, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Ingeniería Civil, 2016.
- [2] J. Chong, K. Ramones y M. Olavarrieta, Caracterización de Estructuras Escolares de concreto armado expuestas en ambientes marinos, según lo establecido por la propuesta de Norma Fondonorma, Concreto Durabilidad para Iberoamérica, Trabajo Especial de Grado. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2016.
- [3] E. Álvarez, S. Garagozzo, J. Sánchez y M. Olavarrieta, Evaluación de la durabilidad y capacidad ante eventos naturales de edificaciones escolares de concreto armado ubicados en la zona costera del estado falcón, Trabajo Especial de Grado, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Ingeniería Civil, 2016.
- [4] Fondonorma, NORMA VENEZOLANA COVENIN 1618-1998 NTF 4015-2012 Concreto Durabilidad, 2012
- [5] M. Oropeza, L. Salazar, M. Olavarrieta y H. Bolognini. Caracterización de la Principales Fallas Por Corrosión en Edificaciones Multifamiliares de Concreto Armado Expuestas en Ambiente Marino, Trabajo Especial de Grado, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Ingeniería Civil, 2006.
- [6] Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN, "Edificaciones Sismorresistentes. Parte 1: Articulado. COVENIN 1756-1:2001". Fondonorma. Caracas, Venezuela, 2001
- [7] M. Olavarrieta, A. Giménez, M. I. Dikdan, H. Bolognini, A. Rodríguez, M. Parra, CDCHT Código N° 002-IC-2013, Caracterización de edificaciones de concreto armado expuestas en ambientes marinos según lo establecido por la propuesta de Norma Técnica Fondonorma, Concreto Durabilidad para Iberoamérica, 2013
- [8] H. López, P. Montes, J. Porras, T. Bremner, Estrategias para mejorar la durabilidad de concreto reforzado ante un medio ambiente marino, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO), México, 2014.
- [9] J. Bernal, Durabilidad en estructuras de concreto armado localizadas frente a la costa, Tesis de Grado en la Maestría en Ingeniería Civil, mención construcción. Universidad Autónoma de México, 2009.
- [10] M. Montezuma, C. Suárez, M. Linárez, M. Olavarrieta y H. Bolognini, Caracterización de las Principales Causas Por Fallas por Corrosión n edificaciones Habitacionales de Uso Turístico Expuestas en Ambientes Marinos, Trabajo Especial de Grado, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, 2007.
- [11] O. Troconis, A. Rincón, M. Romero, M. Sánchez, A. Rincón, M. Prato, y M. Fernández, The atmospheric corrosivity maps in Venezuela, Revista Técnica

Universidad del Zulia, Volumen 23, N° 1.3, p. 13, 2000.

- [12] Fundación para Equipamiento y Dotación Escolar FEDE del Estado Falcón. Listado de las Edificaciones Escolares del Estado Falcón ubicadas en los municipios costeros, Censo hasta 2013.
- [13] O. Troconis, A. Romero, C. Andrade, P. Helene y I. Díaz, DURAR. Red Temática XV.B. Durabilidad de la Armadura, Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado, CYTED ISBN 980-296-541-3. Subprograma XV, Corrosión: Impacto Ambiental sobre Materiales, Maracaibo, Venezuela, 1997.
- [14] Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN 1753-2006, Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural, Fondonorma, Caracas, Venezuela, 2006