

Caracterización de fallas y estimación de la vulnerabilidad sísmica cualitativa de dos edificaciones escolares en concreto armado ubicadas en el Estado Falcón.

G. A. Pérez^{1*} , D. C. Rojas¹ , M. A. Olavarrieta¹ 

*Autor de Contacto: ingenierogabrielaperez@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v16i3.1098>

Recibido: 04/03/2026 | Correcciones recibidas: 23/04/2026 | Aceptado: 10/07/2026 | Publicado: 01/09/2026

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue caracterizar las fallas y estimar la vulnerabilidad sísmica cualitativa de dos edificaciones escolares de concreto armado ubicadas en el estado Falcón, Venezuela. La metodología empleada incluyó una inspección visual con registro fotográfico de fallas, clasificación del ambiente según la Norma NTF 4015:2012, y determinación de la vulnerabilidad sísmica cualitativa mediante el método FUNVISIS (Código FUN-002, 2014). Los resultados mostraron que ambas escuelas están expuestas a un ambiente corrosivo por cloruros (M4). La originalidad radica en la aplicación del método FUNVISIS en edificaciones escolares en ambiente marino. El análisis de riesgo sísmico reveló que una escuela presenta vulnerabilidad elevada (P5), mientras que la segunda mostró vulnerabilidad media baja (P8).

Palabras clave: corrosión; hormigón armado; durabilidad; prediagnóstico; riesgo sísmico.

Citar como: Pérez, G. A., Rojas, D. C., Olavarrieta, M. A. (2026), “Caracterización de fallas y estimación de la vulnerabilidad sísmica cualitativa de dos edificaciones escolares en concreto armado ubicadas en el Estado Falcón.”, Revista ALCONPAT, V (N), pp. 558 – 584, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v16i3.1098>

¹ Decanato de Ingeniería Civil, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", Barquisimeto, Venezuela.

Contribución de cada autor

En este trabajo el autor G. A. Pérez contribuyó a la idea original (10%), la recolección de datos (50%), el desarrollo experimental (50%), la discusión de resultados (40%), la escritura del trabajo (50%) y la revisión y edición del trabajo (30%). El autor D. C. Rojas contribuyó a la idea original (10%), la recolección de datos (50%), el desarrollo experimental (50%), la discusión de resultados (40%), la escritura del trabajo (50%) y la revisión y edición del trabajo (30%). El autor M. A. Olavarrieta contribuyó a la idea original (80%), la discusión de resultados (20%), y la revisión y edición del trabajo (40%).

Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2026) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2027 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2027.

Characterization of failures and estimation of the qualitative seismic vulnerability of two reinforced concrete school buildings located in Falcón State.

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the structural failures and estimate the qualitative seismic vulnerability of two reinforced concrete school buildings located in Falcón State, Venezuela. The methodology employed included a visual inspection with photographic documentation of failures, environmental classification according to the NTF 4015:2012 standard, and determination of qualitative seismic vulnerability using the FUNVISIS method (Code FUN-002, 2014). The results showed that both schools are exposed to a chloride-corrosive environment (M4). The originality of this study lies in the application of the FUNVISIS method to school buildings in a marine environment. The seismic risk analysis revealed that one school exhibits high vulnerability (P5), while the second showed medium-low vulnerability (P8).

Keywords: corrosion; reinforced concrete; durability; preliminary diagnosis; seismic risk.

Caracterização de falhas e estimativa da vulnerabilidade sísmica qualitativa de dois edifícios escolares de concreto armado localizados no Estado Falcón.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi caracterizar as falhas estruturais e estimar a vulnerabilidade sísmica qualitativa de dois edifícios escolares de concreto armado localizados no estado de Falcón, Venezuela. A metodologia empregada incluiu inspeção visual com documentação fotográfica das falhas, classificação ambiental de acordo com a norma NTF 4015:2012 e determinação da vulnerabilidade sísmica qualitativa utilizando o método FUNVISIS (Código FUN-002, 2014). Os resultados mostraram que ambas as escolas estão expostas a um ambiente corrosivo por cloretos (M4). A originalidade deste estudo reside na aplicação do método FUNVISIS a edifícios escolares em ambiente marinho. A análise de risco sísmico revelou que uma das escolas apresenta alta vulnerabilidade (P5), enquanto a segunda apresentou vulnerabilidade média-baixa (P8).

Palavras-chave: concreto armado; corrosão; durabilidade; pré-diagnóstico; risco sísmico.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. +52 1 983 419 8241, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

1. INTRODUCCIÓN

La corrosión del acero de refuerzo constituye la principal causa de deterioro prematuro del concreto armado, con consecuencias especialmente críticas en zonas costeras. Venezuela, y en particular el estado Falcón, enfrenta este desafío de manera aguda: su ambiente marino, con elevada concentración de iones cloruro, acelera la corrosión y compromete la seguridad estructural de las edificaciones (Porrero, 2014). El mecanismo de la corrosión presenta una incidencia relativa en las manifestaciones patológicas en estructuras de concreto armado del 20%, es un fenómeno de naturaleza electroquímica que se ve acelerado en presencia de agentes agresivos externos ambientales o los que se incorporen en la mezcla. (Helene P., 2007).

Esta problemática se agrava en las instituciones educativas públicas, cuyo mantenimiento preventivo suele ser insuficiente o inexistente, tal como lo establece el manual de diseño de la Fundación de Edificaciones y Dotaciones Escolares, FEDE (Troconis y Fernández, 2007). Muchas de estas edificaciones presentan un estado de deterioro que las hace inseguras tanto para los estudiantes como para su uso como refugios en situaciones de emergencia. Además, no cumplen con los requisitos de durabilidad establecidos en la Norma Técnica Fondonorma Concreto, NTF 4015:2012. Ante esta realidad, investigadores de la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” han desarrollado, durante más de quince años, una línea de investigación orientada a caracterizar los efectos de los ambientes agresivos sobre el concreto armado en edificaciones escolares del estado Falcón (Olavarrieta et al., 2017a; Olavarrieta et al., 2017b; Olavarrieta et al., 2020).

En cuanto a la evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica, se han propuesto numerosos métodos para distintas tipologías estructurales; sin embargo, muchos presentan limitaciones relacionadas con las variables consideradas o el alcance de su aplicación. En este contexto, el método de Índice de Priorización FUNVISIS (López et al., 2014) resulta pertinente, pues incorpora variables como la amenaza sísmica local, la vulnerabilidad estructural y la importancia de la edificación, permitiendo establecer jerarquías de intervención de manera expedita. La pertinencia de este método para edificaciones escolares, entre tantos métodos cualitativos, fue respaldada por Salas y Sierralta (2015) en su trabajo especial de grado, quienes concluyeron que era la metodología que mejor se ajustaba a las características de este tipo de edificaciones. La aportación metodológica del presente trabajo consiste en integrar el grado de deterioro por corrosión, documentado mediante inspección preliminar detallada, como variable de entrada en el subíndice de vulnerabilidad del método FUNVISIS. Esta vinculación entre el estado físico real de las edificaciones y su comportamiento sísmico potencial constituye la originalidad del estudio: no se trata de una evaluación de vulnerabilidad sísmica aislada, sino de un análisis que articula el deterioro observado con la priorización de intervención.

Es necesario precisar el alcance metodológico del estudio. Lo que se realizó fue una inspección preliminar detallada, que permitió documentar la sintomatología de fallas y caracterizar el ambiente de exposición mediante observación ocular, medición con fisurómetro y cinta métrica, y registro fotográfico sistemático. Este nivel de inspección no incluye ensayos de diagnóstico especializado, tales como determinación de carbonatación, contenido de cloruros, resistividad eléctrica, resistencia a la compresión, potencial de corrosión o termografía. La inspección preliminar detallada con la aplicación del método FUNVISIS, objeto de este artículo, constituye un paso previo de priorización que orienta la toma de decisiones, pero en ningún caso la sustituye.

En consecuencia, el objetivo del trabajo es evaluar la vulnerabilidad sísmica cualitativa y establecer la priorización de intervención en dos edificaciones escolares de concreto armado ubicadas en el municipio Silva, estado Falcón, mediante el uso del método de Índice de Priorización FUNVISIS (López et al., 2014), empleando para ello la caracterización de fallas derivada de la inspección preliminar detallada como insumo para la determinación del grado de deterioro estructural. Este artículo se desprende de un trabajo especial de grado (Pérez et al., 2022).

2. PROCEDIMIENTO

El estudio se desarrolló en tres fases secuenciales: (i) inspección preliminar detallada de las edificaciones; (ii) caracterización del ambiente de exposición; y (iii) cálculo de los índices de vulnerabilidad, riesgo y priorización sísmica según la metodología FUNVISIS.

La primera fase consistió en una visita a las instituciones objeto de estudio: la Escuela Primaria Nacional Bolivariana José Ramón Yépez y la Escuela Primaria Estatal Armando Schwarck Anglade. En esa visita se realizó una entrevista con las autoridades de cada plantel para informarles sobre los objetivos de la investigación y obtener el permiso correspondiente para ejecutar las inspecciones. La inspección preliminar tiene como propósito recaudar la información necesaria para determinar la naturaleza y el origen del problema, y así abrir paso a un estudio más detallado. Durante esta primera visita se recopilaron datos generales de las edificaciones: nombre completo de la institución, ubicación geográfica, fecha de construcción, uso para el que fue proyectada y uso actual, matrícula estudiantil y antecedentes aportados por los directivos. Todo ello se realizó siguiendo los lineamientos del Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado (Troconis et al., 1997), en la figura 1 se aprecia un esquema amplio y general para el desarrollo del proyecto de diagnóstico de una estructura de concreto armado, de éste esquema desprenden todas las fases del proceso y dependerá del alcance del trabajo, el avance de cada proceso; particularmente esta investigación se inició con la inspección preliminar, que incluye el examen visual de la estructura, la recolección de antecedentes de las edificaciones, sin ejecución de ensayos o estudios comprobatorios, debido al costo que ello implicaría, sin embargo se pre diagnosticaron las edificaciones, posteriormente se realizaron los levantamientos de síntomas de fallas que permitieron su caracterización y el planteamiento de las posibles hipótesis que las generaron.

En la segunda visita se llevó a cabo el levantamiento planimétrico de las edificaciones para identificar sus elementos estructurales y subsistemas. Los sistemas inspeccionados se clasificaron en: estructural, instalaciones sanitarias, cubiertas, fachadas y áreas circundantes. Simultáneamente, se ejecutó la caracterización de fallas mediante inspección visual. Este levantamiento se realizó en dos etapas complementarias. En la primera se registró la sintomatología de fallas utilizando fisurómetro, cinta métrica y planillas de anotación, con soporte fotográfico, priorizando los elementos estructurales (vigas y columnas). A cada síntoma se le asignó un código de identificación, por ejemplo: A1-1 para fisuras, A1-2 para grietas, B2 para manchas de óxido, C2-2 para desprendimiento de concreto, basado en el Manual DURAR con adaptaciones propias. En la segunda etapa, cada falla fue documentada en la Planilla N.º 2, registrando: tipo de elemento afectado, subsistema, ubicación respecto a los ejes estructurales, croquis, fotografías, descripción de extensión y gravedad, e hipótesis de causa.

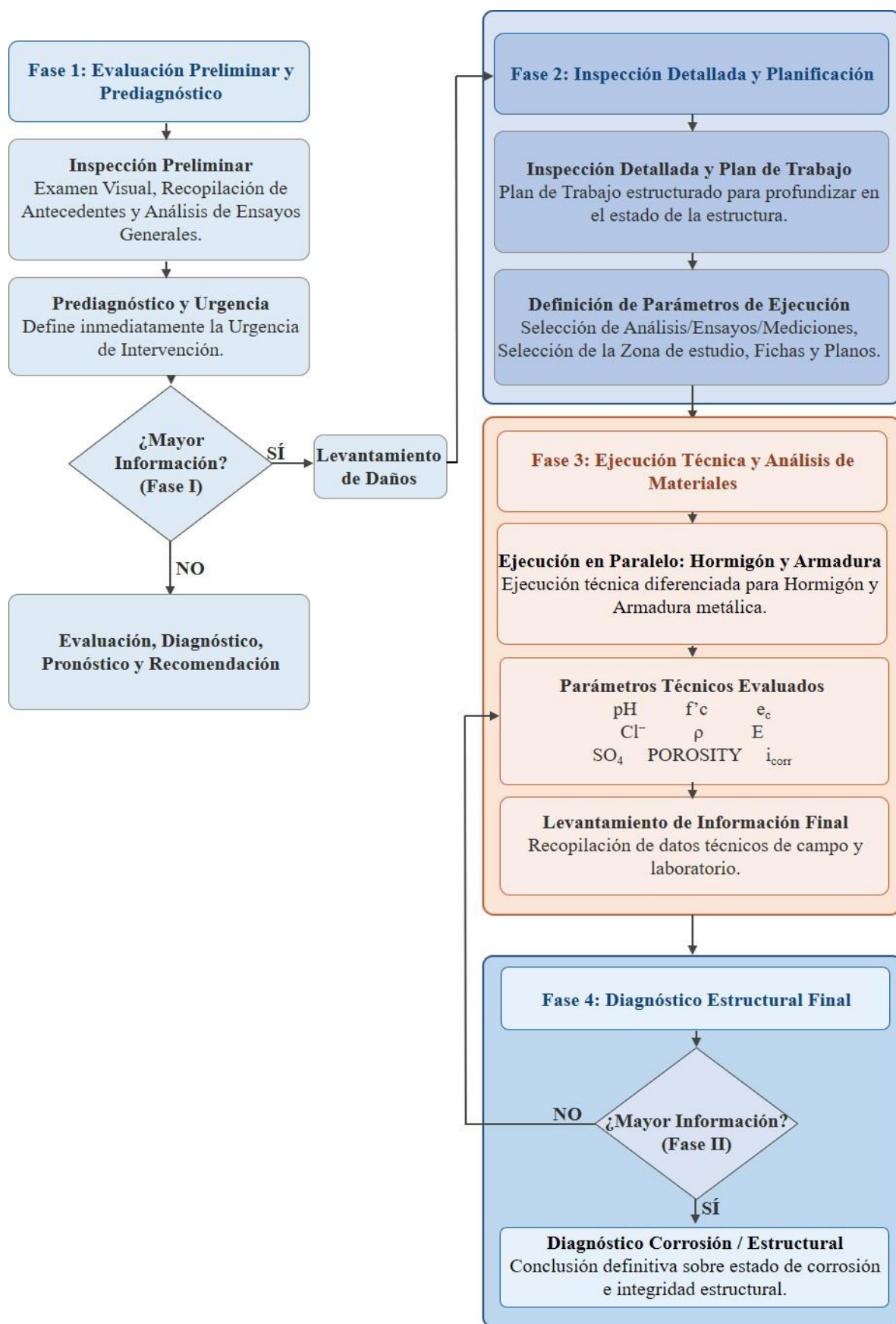


Figura 1. Esquema metodológico para el diagnóstico de una estructura de concreto armado
Fuente: Troconis et al, 1997.

La caracterización de fallas no se limitó al levantamiento visual, sino que incluyó la identificación, clasificación, localización, cuantificación (longitud y espesor) y el planteamiento de hipótesis de origen según los lineamientos del Manual DURAR. Este proceso permitió establecer el diagnóstico preliminar de cada edificación y su relación con los mecanismos de deterioro presentes. Es precisamente la información obtenida en esta inspección la que sirve como insumo para asignar el valor del subíndice I_s (grado de deterioro), cuya magnitud varía entre 0 (sin deterioro) y 90 (deterioro severo con exposición del acero de refuerzo), e incide directamente en el Índice de Vulnerabilidad (I_v) y, por ende, en la priorización sísmica final.

La segunda fase consistió en caracterizar el ambiente de exposición de cada estructura utilizando la tabla de clases de exposición relacionadas con las condiciones ambientales de la norma NTF 4015:2012, que establece valores límite para agentes agresivos, relaciones agua/cemento y criterios de porosidad del concreto. Las condiciones de uso de las obras, están sujetas a acciones físico químicas ambientales, con la cual entran en contacto y pueden ser acciones químicas, transporte a través de materiales porosos, variación de la humedad, variaciones de la temperatura, acciones expansivas, todos estos fenómenos pueden llevar a la estructura a su pérdida de desempeño y comprometerla en sus funciones proyectadas inicialmente, es decir su funcionalidad, por tanto la determinación de variables ambientales permitirán prever una posible evolución de la degradación. (Bertolini L., 2009)

La tercera fase correspondió al cálculo de los índices de vulnerabilidad, riesgo y priorización sísmica, siguiendo la metodología establecida por FUNVISIS en el proyecto Índices de Priorización para la Gestión del Riesgo Sísmico en Edificaciones Existentes (López et al., 2014). Esta metodología no cuantifica de forma absoluta los niveles de vulnerabilidad y riesgo, sino que establece prioridades para la toma de decisiones orientadas a determinar cuáles edificaciones requieren con mayor urgencia un estudio estructural cuantitativo de mayor profundidad.

3. ESTIMACIÓN DE LOS ÍNDICES DEL MÉTODO CUALITATIVO

Para el análisis cualitativo de la vulnerabilidad sísmica, se utilizaron las ecuaciones que se presentan a continuación.

Índice de Priorización de Edificaciones:

$$I_p = I_A * I_v * I_I \quad (1)$$

Donde I_A es el índice de amenaza, I_v es el índice de vulnerabilidad y I_I es el índice de importancia. El índice de amenaza puede variar entre 0,05 y 1,00, el índice de vulnerabilidad entre 6,0 y 100 y el índice de importancia entre 0,80 y 1,00. El índice de priorización puede variar entre 1 y 100.

3.1 Índice de Amenaza (I_A)

Este índice toma en cuenta la aceleración del terreno en roca (A_o) definida para las siete zonas sísmicas de Venezuela establecido en la Norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes” y por los efectos topográficos que puedan afectar la estabilidad de la estructura en estudio. Estos valores se tomaron de la tabla de valores del Índice de Amenaza propuesta por López et al. (2014), como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de Índice de Amenaza. Fuente: Índices de Priorización para la Gestión del Riesgo Sísmico en Edificaciones Existentes. 2014.

Zona	Peligro Sísmico	A _o (Covenin 2001)	I _A	
			Sin efectos topográficos	Con efectos topográficos
7	Elevado	0,40	0,90	1
6		0,35	0,80	0,88
5		0,30	0,68	0,75
4	Intermedio	0,25	0,56	0,63
3		0,20	0,45	0,50
2	Bajo	0,15	0,34	0,38
1		0,10	0,23	0,25
0		-	0,05	0,05

El terreno donde se ubican las escuelas, en el estado Falcón, se clasifica según la Norma COVENIN 1756-2001 en zona sísmica 4 (aceleración pico del terreno $A_o = 0,25$ g), sin efectos topográficos significativos, por lo que se asigna $I_A = 0,56$ para ambas escuelas.

3.2 Índice de Vulnerabilidad (I_v)

El índice de vulnerabilidad (I_v) viene dado por:

$$I_v = \sum_{i=1}^6 \alpha_i \cdot I_i \quad (2)$$

Donde I_i es el índice de vulnerabilidad específica y α_i su peso relativo, los mismos vienen expresados en la Tabla 2 de Índices de vulnerabilidad específica (I_i) y pesos relativos (α_i). Cada subíndice captura una dimensión distinta de la vulnerabilidad estructural y se determina a partir de la inspección visual, sin necesidad de análisis estructural avanzado.

El primero subíndice, I_1 , refleja la antigüedad de la construcción y la norma de diseño empleada en su época, asignando valores más elevados a edificaciones anteriores a las normativas sismorresistentes modernas. El segundo, I_2 , corresponde al tipo estructural predominante, diferenciando sistemas con mayor o menor capacidad de disipación de energía ante un evento sísmico. El tercero, I_3 , penaliza la presencia de irregularidades geométricas o deficiencias estructurales detectadas visualmente, tales como columnas cortas, entresijos blandos o adosamiento entre módulos, calculados como la sumatoria de los sub-índices asociados a cada irregularidad identificada, con un valor máximo de 100. El cuarto, I_4 , considera el aumento de vulnerabilidad en edificaciones de varios pisos fundadas sobre depósitos de sedimentos de gran profundidad. El quinto, I_5 , incorpora la influencia de la topografía del terreno y la ausencia de sistemas de drenaje. Finalmente, el sexto, I_6 , cuantifica el grado de deterioro observable en los elementos estructurales, paredes de relleno y estado general de mantenimiento de la edificación. Cada sub-índice se pondera mediante un coeficiente α_i establecido en la Tabla 2, que refleja su peso relativo en la vulnerabilidad global, siendo el tipo estructural ($\alpha_2 = 0,35$) y la antigüedad ($\alpha_1 = 0,25$) los factores de mayor incidencia (López et al., 2014). Tomado de la Tabla N°2.

Tabla 2. Índice de vulnerabilidad específica y pesos relativos. Fuente: Índices de Priorización para la Gestión del Riesgo Sísmico en Edificaciones Existentes.

I_i	Vulnerabilidad asociada con:	α_i
I_1	Antigüedad y norma utilizada	0,25
I_2	Tipo estructural	0,35
I_3	Irregularidad	0,25
I_4	Profundidad del depósito	0,07
I_5	Topografía y drenajes	0,04
I_6	Grado de deterioro	0,04

3.3 Índice de Importancia (I_i)

El valor de este índice se extrae de la Tabla 3 en función del uso del edificio y del número de ocupantes y tiene como finalidad incluir los efectos del uso de las construcciones y el número de personas (N) expuestas al momento de ocurrir un evento sísmico. Se asignan índices mayores a aquellas construcciones esenciales, como centros de salud y escuelas que sirven de refugio temporal en casos de emergencias. Para edificaciones escolares, incluye el total de alumnos, docentes y personal administrativo presentes en el plantel durante el horario de funcionamiento regular.

Tabla 3. Valores del índice de importancia (I_i). Fuente: Índices de Priorización para la Gestión del Riesgo Sísmico en Edificaciones Existentes. 2014.

Grupo	$N \leq 10$	$10 < N \leq 100$	$100 < N \leq 500$	$500 < N \leq 1000$	$N > 1000$
A1	0,90	0,92	0,95	0,97	1
A2	0,85	0,87	0,90	0,93	0,95
A3	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90

Para este trabajo, ambas instituciones se clasifican en el grupo A2 (edificaciones educativas que sirven de refugio temporal), con una matrícula de entre 100 y 500 personas, lo que arroja $I_i = 0,90$ en los dos casos.

3.4 Valoración de los índices de vulnerabilidad, riesgo y priorización

Se define cualitativamente la vulnerabilidad como en la tabla 4, a partir del valor obtenido en el Índice de Vulnerabilidad (I_v).

Tabla 4. Valoración del Índice de Vulnerabilidad (I_v). Fuente: Índices de Priorización para la Gestión del Riesgo Sísmico en Edificaciones Existentes. 2014.

Calificación de la Vulnerabilidad	I_v Rango de Valores
Muy Elevada	$60 \leq I_v \leq 100$
Elevada	$40 \leq I_v < 60$
Media Alta	$30 \leq I_v < 40$
Media Baja	$20 \leq I_v < 30$
Baja	$10 \leq I_v < 20$
Muy Baja	$0 \leq I_v < 10$

Por otra parte, cualitativamente el índice de riesgo se obtiene del producto de los índices de amenaza (I_A) y de vulnerabilidad (I_v) y luego buscando su valor en la tabla 5. Es decir:

$$I_r = I_A \cdot I_v \quad (3)$$

Tabla 5. Valoración del índice de riesgo (I_r). Fuente: Índices de Priorización para la Gestión del Riesgo Sísmico en Edificaciones Existentes. 2014.

Calificación del Riesgo	I_R Rango de Valores
Muy Elevado	$60 \leq I_R \leq 100$
Elevado	$40 \leq I_R < 60$
Alto	$25 \leq I_R < 40$
Medio Alto	$15 \leq I_R < 25$
Medio Bajo	$8 \leq I_R < 15$
Bajo	$3 \leq I_R < 8$
Muy Bajo	$0 \leq I_R < 3$

Por último, se obtiene una valoración cualitativa del Índice de Priorización utilizando los criterios presentados en la tabla 6.

Tabla 6. Valoración de los índices de priorización (I_p). Fuente: Índices de Priorización para la Gestión del Riesgo Sísmico en Edificaciones Existentes. 2014.

Calificación de la Priorización	I_P Rango de Valores
P1 (Prioridad máxima)	$60 \leq I_P \leq 100$
P2	$50 \leq I_P < 60$
P3	$40 \leq I_P < 50$
P4	$30 \leq I_P < 40$
P5	$25 \leq I_P < 30$
P6	$20 \leq I_P < 25$
P7	$16 \leq I_P < 20$
P8	$12 \leq I_P < 16$
P9	$8 \leq I_P < 12$
P10	$5 \leq I_P < 8$
P11	$2 \leq I_P < 5$
P12 (Prioridad mínima)	$0 \leq I_P < 2$

Siguiendo este procedimiento se calcularon los índices de todos los módulos de ambas escuelas, cuyos resultados se presentan en la sección de Análisis de Resultados.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Escuela Primaria Nacional Bolivariana José Ramón Yépez

La escuela se localiza en la parroquia Boca de Aroa, Municipio Silva del Estado Falcón, aproximadamente a 400 m de la costa (Figura 2). Fue construida en 1954. El 1 de octubre de 1956 comienza a funcionar.

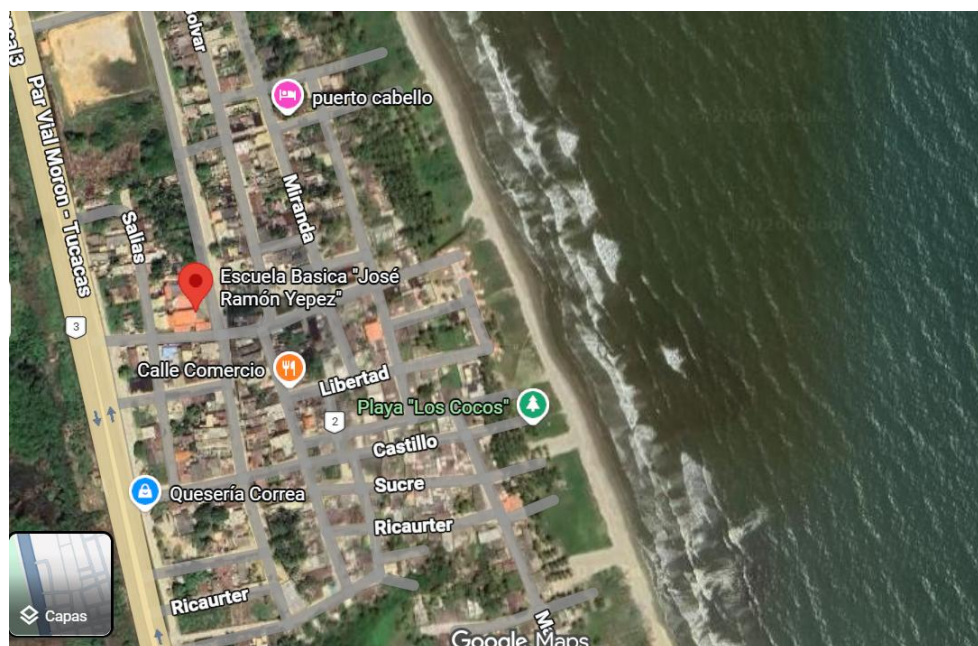


Figura 2. Imagen satelital de la Escuela Primaria Nacional Bolivariana José Ramón Yépez
Fuente: Google Earth 2021.

La institución consta de quince (15) salones de clases, de los cuales solo ocho (8) se encontraban operativos. Contaba al momento con una matrícula de 246 alumnos, 9 docentes, 4 obreros y 5 cocineras. La estructura es aporticada de concreto armado. Las ventanas y puertas están recubiertas por protectores metálicos (rejas). Adicionalmente, en la remodelación del 2007 las puertas y ventanas de toda la institución fueron reemplazadas, de bloques de aireación se pasó a ventanales panorámicos y de techos de asbesto a techos de machihembrado con correas metálicas y de madera en algunos casos. También existen áreas circundantes con aceras y una pared perimetral que delimita totalmente el área ocupada por la escuela. Para la realización de este estudio, la institución fue dividida en 8 módulos. Es conocido el hecho que en el año 2009 se registraron movimientos sísmicos en la zona de Boca de Aroa, con epicentro en Morón, ante lo cual el personal entrevistado manifestó que luego de dicho movimiento, aparecieron diferentes fallas en paredes y pisos, principalmente fisuras y grietas.

4.1.1 Caracterización de la sintomatología de fallas

Una vez realizado el levantamiento de la sintomatología de fallas se logró identificar las fallas que aparecen con mayor frecuencia. Las figuras 3 a 6 presentan la planilla de inspección visual de la estructura y las planillas de sintomatología más representativas de los daños observados en el Módulo 1. En estas planillas se registra, para cada falla: su ubicación en el croquis (distinguiendo la orientación norte y la dirección del mar), la extensión o gravedad, la descripción y caracterización, y la hipótesis probable de causa. Este nivel de detalle se mantuvo en todas las planillas elaboradas para cada módulo, cuyos datos completos se presentan en los anexos del trabajo especial de grado original (Pérez et al., 2022).

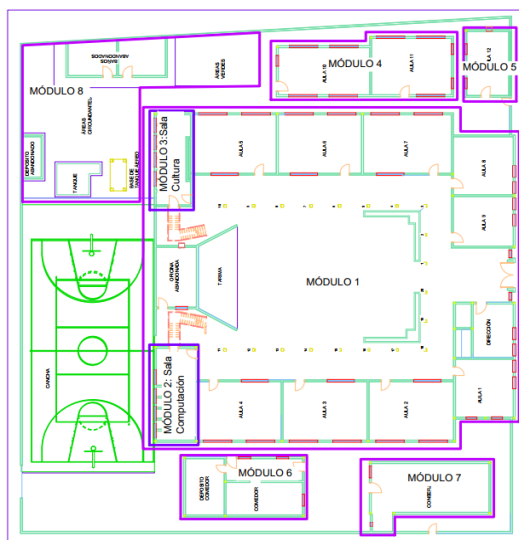


PLANILLA DE INSPECCIÓN VISUAL DE LA ESTRUCTURA



Nombre de la Institución: José Ramon Yépez	Año de Construcción : 1954
Ubicación: 100m de la troncal 3, Calle Piar entre José Ramón Yépez y Salías.	Fecha de la Inspección: 01-Marzo-2021, 02-Marzo-2021 y 23-Julio-2021
Tipo de Estructura: Aporticada Concreto Armado.	Nº de Pisos: 2

Croquis del Área en Estudio



Fotografías



Fallas Observadas	Extensión y Gravedad de las Fallas
Fisuras y Grietas Manchas de humedad Desprendimiento del concreto Desprendimiento del friso Manchas de óxido Exposición del acero de refuerzo Acero delaminado Espesor de recubrimiento menor a 0.5cm	Las fallas que se encontraron con más frecuencia fueron fisuras y grietas en elementos estructurales y cerramientos. Seguido de manchas de humedad en cerramientos y paredes perimetrales. Manchas de óxido, desprendimiento del concreto, y delaminación del acero de refuerzo en elementos estructurales. Falla en correas de techos.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	

Figura 3. Planilla de Inspección Visual de la E.P.N.B José Ramón Yépez
Fuente: Elaboración propia (Pérez et al., 2022).

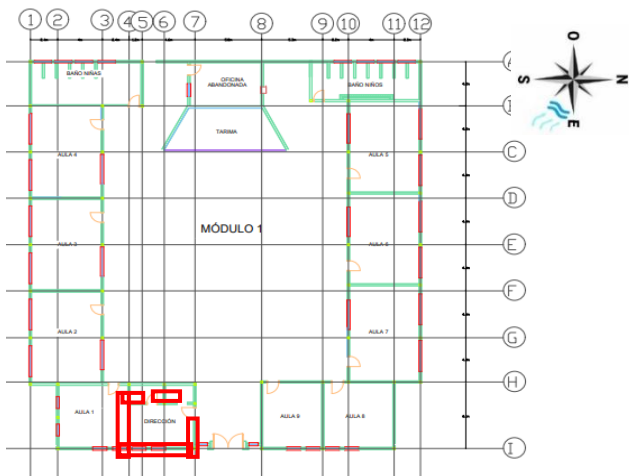
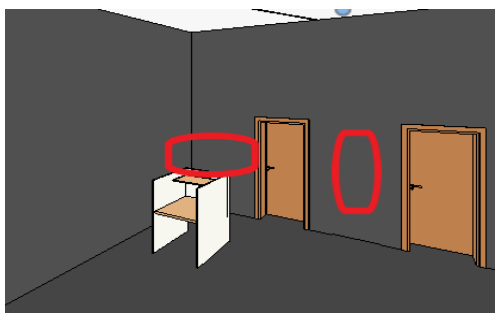
 PLANILLA DE SINTOMATOLOGÍA DE FALLAS 	
Nombre de la Institución: José Ramon Yépez	Nº de Planilla: 5/23
Ubicación: 100m de la troncal 3, Calle Piar entre José Ramón Yépez y Salías.	Módulo: 1
Tipo de Estructura: Aporticada Concreto Armado.	Tipo de Elemento: Pared
Año de Construcción : 1954	Subsistema: Cerramiento
Croquis del Área en Estudio	Dibujo del Elemento
	
Fotografías	Descripción de la Falla
1  2 	Se observa humedad, eflorescencia y abombamiento del friso en el tercio inferior de todos los cerramientos de la dirección. También se observa caída del recubrimiento principal (pintura).
	Hipótesis
	Se presume que la humedad presente se debe a efectos de capilaridad a causa del ascenso del agua contenida en los cimientos hacia la estructura a través de los poros del concreto de la losa, de los bloques y del mismo friso, liberando sales y dejando manchas blancas. Sumado a esto, en el caso específico del cerramiento ubicado entre ejes H-I y 4-6 (foto 1) está una posible filtración causada por las instalaciones sanitarias del baño adyacente.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	Fecha de la Inspección: 02-Marzo-2021

Figura 4. Planilla de Sintomatología de Fallas. Módulo 1. 1/3
Fuente: Elaboración propia (Pérez et al., 2022).

PLANILLA DE SINTOMATOLOGÍA DE FALLAS	
Nombre de la Institución: José Ramon Yépez	Nº de Planilla: 6/23
Ubicación: 100m de la troncal 3, Calle Piar entre José Ramón Yépez y Salías.	Módulo: 1
Tipo de Estructura: Aporticada Concreto Armado.	Tipo de Elemento: Pared
Año de Construcción : 1954	Subsistema: Cerramiento
Croquis del Área en Estudio	Dibujo del Elemento
Fotografías	Descripción de la Falla
1 2 3	Se observa abombamiento del concreto, además de: 1. Grieta en el cerramiento externo del aula 1 remarcada en rojo, ubicada en el eje H entre ejes 3-4. La grieta parte de la esquina superior izquierda del marco de la puerta, con longitud 1.24 m y espesor 0.05-0.70-0.80mm hasta el recubrimiento amarillo. Continúa hasta el borde inferior del marco de la puerta con long 1.31m y espesor > 2mm. 2. Grietas en el cerramiento del eje H entre ejes 1-4 remarcada en rojo, tanto del lado del aula 1 como del aula 2. En el aula 2 se ven dos grietas, una ubicada en el tercio central del cerramiento de 0.70 m de longitud y más de 2mm de espesor. La segunda inicia en el tope del cerramiento con 2.52 m y espesores 0.10-0.08-0.60-0.50-0.30-1.50mm. 3. Diferentes grietas y fisuras remarcadas en rojo, en el cerramiento interno del aula 1, ubicado en el eje H entre ejes 3-4.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	Hipótesis
	Se presume que las grietas en forma de "X" (Equis) se originaron por los movimientos sísmicos ocurridos en el año 2009.
	Fecha de la Inspección: 02-Marzo-2021

Figura 5. Planilla de Sintomatología de Fallas. Módulo 1. 2/3
Fuente: Elaboración propia (Pérez et al., 2022).

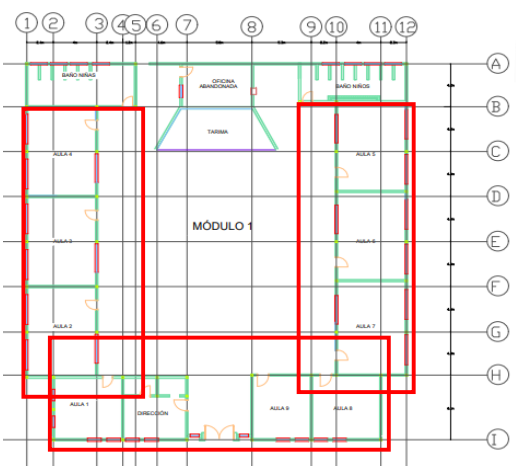
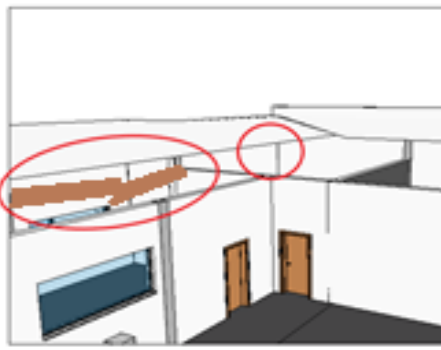
 PLANILLA DE SINTOMATOLOGÍA DE FALLAS 	
Nombre de la Institución: José Ramon Yépez	Nº de Planilla: 7/23
Ubicación: 100m de la troncal 3, Calle Piar entre José Ramón Yépez y Salías.	Módulo: 1
Tipo de Estructura: Aporticada Concreto Armado	Tipo de Elemento: Losa de Techo
Año de Construcción : 1954	Subsistema: Cubierta de Techo
Croquis del Área en Estudio	Dibujo del Elemento
	
Fotografías	Descripción de la Falla
1  2  3  4 	Se observa en todos los techos de machihembrado de las aulas del módulo 1: -Manchas de humedad en toda la cubierta -Desprendimiento en las correas de madera del techo -Manchas de óxido en las correas metálicas del techo -Cables de electricidad sueltos, sin protección ni cubierta En el techo del aula 7 (foto 4) se observan roturas en las correas de madera del techo. La estructura de soporte del cielo raso también presenta desprendimiento y se ven manchas de óxido.
	Hipótesis
	Se presume que las manchas de humedad y el desprendimiento del machihembrado se deben al estancamiento de agua de lluvia en la cubierta, probablemente debido al deterioro del material impermeabilizante por carencia de mantenimiento. -Las correas de techo del aula 7 pueden estar rotas debido a que fueron sometidas a sobrecargas en determinados puntos.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	Fecha de la Inspección: 02-Marzo-2021

Figura 6. Planilla de Sintomatología de Fallas. Módulo 1. 3/3

Fuente: Elaboración propia (Pérez et al., 2022).

En toda la institución se contabilizaron en total 160 fallas durante la inspección realizada, como se observa en la figura 7. Los resultados se analizaron a través de un Diagrama de Pareto, también conocido como Método 80-20, donde se reflejan las principales fallas encontradas en el módulo 1 de la Escuela José Ramón Yépez. Este diagrama es de gran utilidad al momento de focalizar las principales causas de problemas, ordenándolos de mayor a menor frecuencia de aparición, para así tratar los que más atención requieren.

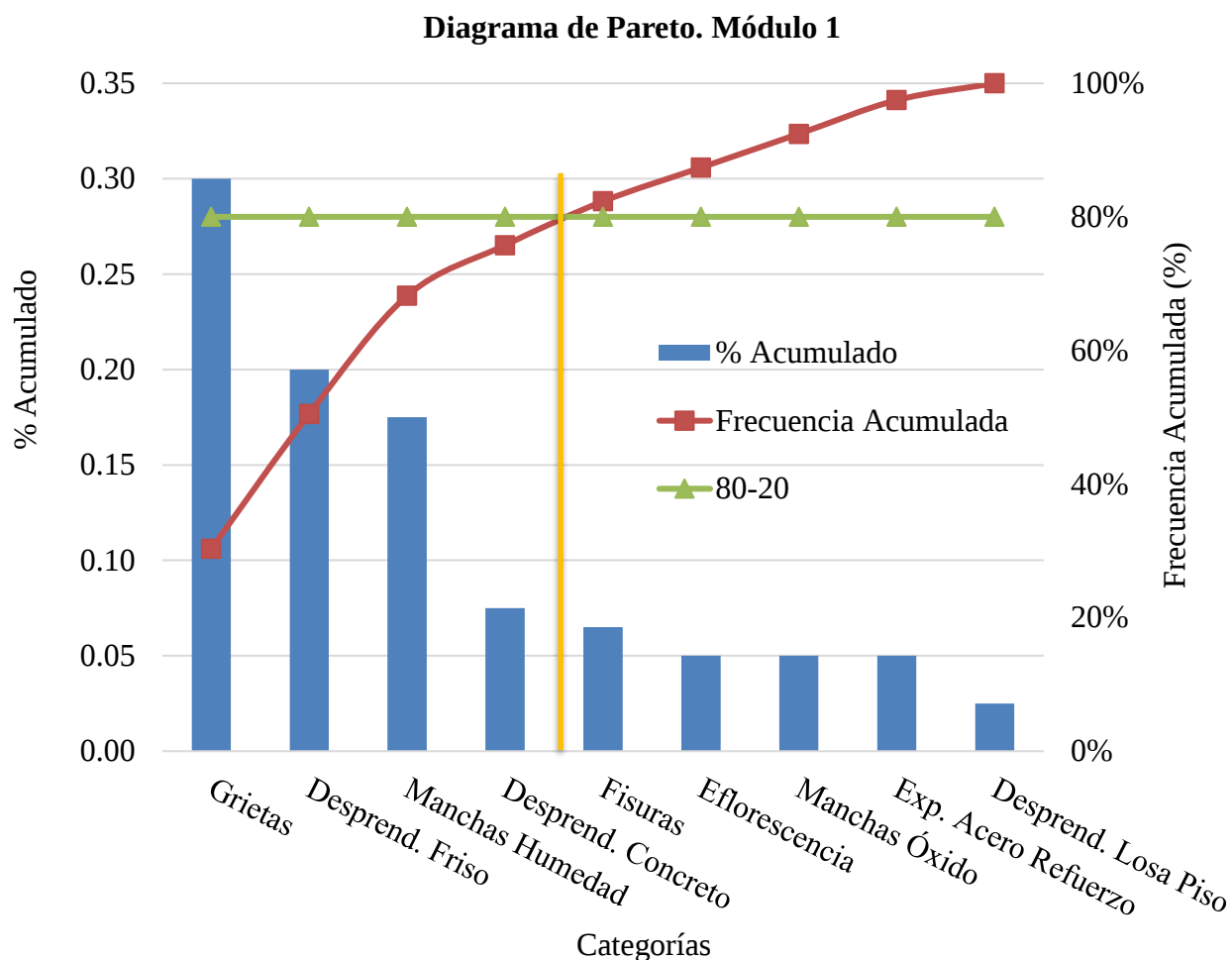


Figura 7. Diagrama de Pareto de la Escuela José Ramón Yépez, Módulo 1.
Fuente: Elaboración propia (Pérez et al., 2022).

El diagrama muestra que el 80% de las fallas corresponde a grietas, desprendimiento de friso, manchas de humedad y desprendimiento de concreto. Las grietas en elementos estructurales se asocian principalmente a la corrosión provocada por el ataque de iones cloruro; ésta presunción viene dada por la clasificación ambiental marina, y la característica de la grieta en dirección del acero de refuerzo, cuyo mecanismo comienza con su recrecido superficial por productos del óxido, que ante el ataque de cloruros rompe la capa pasiva y reacciona corroyendo el acero, inicialmente aparece una fisura, luego una grieta, sigue posteriormente la expansión del concreto y la exposición completa de la barra a la superficie, la importancia del recorrido de la fisuración en relación con la durabilidad, dependen fundamentalmente de si las fisuras siguen la misma dirección de la barra de refuerzo, especialmente desde el punto de vista de corrosión ya que también pueden reducir la adherencia y resistencia frente a esfuerzos cortantes, Beeby A. (1993); otras grietas aparecieron tras la sustitución de puertas, rejas y ventanas en 2007, o como consecuencia de esfuerzos de

flexión en elementos sin columnas de apoyo cercanas. Las manchas de humedad en cerramientos se atribuyen a la ausencia de sistemas de canalización de aguas pluviales y a daños en tuberías. El desprendimiento del friso, por su parte, se vincula a la humedad persistente en las paredes y al desarrollo de procesos corrosivos en el acero de refuerzo. Es importante señalar que en dos zonas de la escuela se observó la superposición de cubiertas de techo, condición que, aunque puede clasificarse inicialmente como un defecto constructivo, genera problemas más graves con el paso del tiempo y aumenta la vulnerabilidad sísmica del módulo.

4.1.2 Caracterización del Ambiente.

De acuerdo a los datos aportados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) 2011, se conoce que la temperatura anual promedio en el municipio Silva, estado Falcón, se registra en 26.6 °C y la humedad relativa anual promedio es de 70%. La dirección del viento promedio por hora predominante en la zona que incide sobre la estructura es del Este durante todo el año. La escuela en estudio se encuentra a menos de 500 metros de la costa, razón por la cual es susceptible a ataques de corrosión por cloruros del ambiente marino.

Teniendo en cuenta toda esta información, y contando como base con la Tabla Clases de exposición relacionadas con las condiciones ambientales es posible clasificar el ambiente como de clase Marina, subclase “en zona aérea con distancias de 5 a 500 m a la línea de costa”, el tipo de proceso es “Corrosión por Cloruros” y finalmente la designación es M4 (Miembros exteriores de estructuras en las proximidades de la línea de costa -de 5 a 500 m-) según lineamientos de la Norma Técnica FONDONORMA 4015:2012 Concreto Durabilidad.

4.1.3 Cálculo del índice de priorización de edificios para la gestión del riesgo sísmico.

La escuela estudiada se ubica en zona sísmica 4 según la norma COVENIN 1756-2001 ($A_0 = 0,20$ g), sin efectos topográficos relevantes, por lo que se asigna $I_A = 0,56$ (Tabla 1).

Para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad se determinaron los siguientes sub-índices:

- $I_1 = 80$ por haberse construido en 1954, anterior a cualquier normativa sismo-resistente venezolana.
- $I_2 = 40$ por tratarse de un sistema aporticado de concreto armado.
- $I_3 = 20$ por la presencia de adosamiento losa-contralosa entre cubiertas de distintos módulos.
- $I_4 = 0$ e $I_5 = 0$ por ser una edificación de una sola planta en terreno plano.
- $I_5 = 0$ se asignó por ser una construcción sobre planicie y con presencia de drenajes.
- $I_6 = 90$ por el estado avanzado de deterioro observado en la inspección visual, que incluyó exposición del acero de refuerzo y grietas por corrosión en elementos estructurales.
-

Aplicando la ecuación (2):

$$I_v = (80 * 0,25) + (40 * 0,35) + (20 * 0,25) + (0 * 0,07) + (0 * 0,04) + (90 * 0,04) \quad (4)$$

$$I_v = 42,6 \quad (5)$$

De acuerdo con la Tabla 4, $I_v = 42,6$ corresponde a una vulnerabilidad calificada como Elevada. La escuela se clasifica en el grupo A2 con una matrícula de 246 alumnos más 18 trabajadores, dentro del rango de 100 a 500 personas, por lo que $I_1 = 0,90$ (Tabla 3).

Con estos valores:

$$I_r = 0,56 * 42,6 = 23,86 \quad (6) \rightarrow \text{Riesgo Medio Alto (Tabla 5)}$$

$$I_p = 0,56 * 42,6 * 0,90 = 21,47 \quad (7) \rightarrow \text{Prioridad P6 (Tabla 6)}$$

El mismo procedimiento se aplicó a los ocho módulos restantes.
Los resultados completos del Módulo 1 se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados del método FUNVISIS para la Escuela José Ramón Yépez.

Índice de Amenaza (I_A)	0,56	
Índice de Vulnerabilidad	α_i	I_i
I. asociado a la antigüedad (I_1)	0,25	80
I. asociado al tipo estructural (I_2)	0,35	40
I. asociado a las irregularidades (I_3)	0,25	20
I. asociado a la profundidad del depósito (I_4)	0,07	0
I. asociado a la topografía y drenajes (I_5)	0,04	0
I. asociado al grado de deterioro (I_6)	0,04	90
	$I_v=$	42,6
Índice de Importancia (I_i)	0,90	
Índice de Riesgo (I_r)	23,86	
Calificación del riesgo	Medio Alto	
Índice de Priorización (I_p)	21,47	

El valor del índice de priorización obtenido ($I_p= 21.47$) se utiliza para obtener el valor correspondiente al módulo 1 de la Escuela José Ramón Yépez. En este caso, se obtuvo prioridad **P6**.

Utilizando el mismo procedimiento mostrado anteriormente se calcularon el resto de los módulos que componen la institución (8 en total). El módulo de la escuela con índice de priorización más bajo fue el módulo 2, obteniendo un índice de P5. Es decir, es el módulo con más daños observados y que necesitaría de una atención más inmediata.

4.2 Escuela Primaria Estatal Armando Schwarck Anglade.

La Escuela Primaria Estatal Armando Schwarck Anglade está ubicada en el Municipio Silva, Estado Falcón y aproximadamente a 1.5 km de la costa (Figura 8). Fue fundada en el año 2006. Cuenta con una matrícula de 386 alumnos entre primaria, preescolar y maternal y 16 docentes. Es una edificación de sistema estructural en concreto armado, cuenta con una sola planta y se divide en 5 módulos.

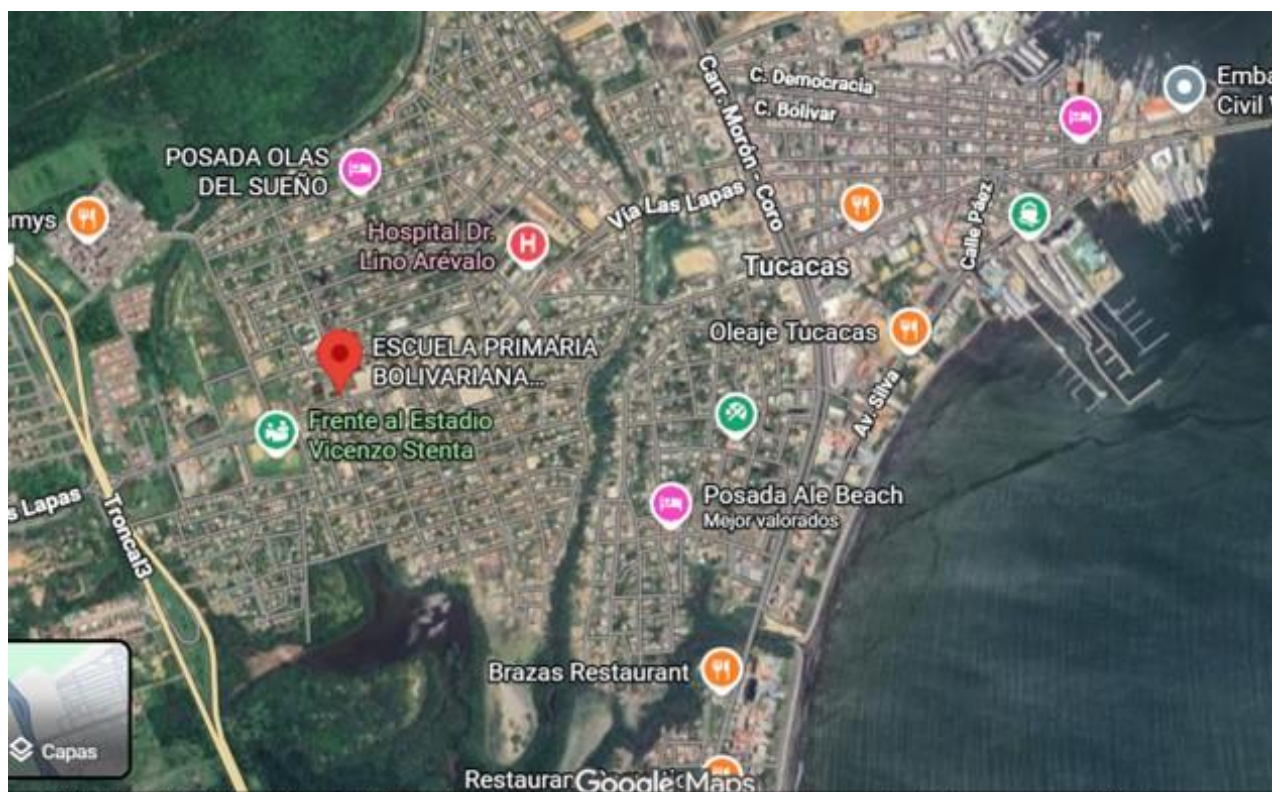


Figura 8. Imagen satelital de La Escuela Primaria Estatal Armando Schwarck Anglade.
Fuente: Google Earth 2021

4.2.1 Caracterización de fallas.

Las figuras 9 a 12 presentan la planilla de inspección visual y las planillas de sintomatología más representativas del Módulo 4. Durante la inspección se identificaron 75 fallas en la institución. Las más frecuentes fueron grietas (34 en total) y fisuras (17). Se registraron también 11 manchas de humedad, 4 filtraciones, 4 oxidaciones en marcos metálicos y, en menor proporción: desprendimiento de concreto con exposición del acero, una red de grietas, empozamiento de agua en pasillos, exposición puntual del acero de refuerzo, desprendimiento de losa de piso y eflorescencia. Las fallas predominaban en elementos de cerramiento.

PLANILLA DE INSPECCIÓN VISUAL DE LA ESTRUCTURA	
Nombre de la Institución: Armando Schwarck Anglad	Año de Construcción : 2006
Ubicación: Intersección Calle Pedro Calles con Av. Principal Hugo Chávez Frías, Vía Las Lapas, Falcón.	Fecha de la Inspección: 04-Marzo-2021 y 22-Julio-2021
Tipo de Estructura: Aporticada de Concreto Armado.	Nº de Pisos: 1
Croquis del Área en Estudio	
Fotografías	
Fallas Observadas	Extensión y Gravedad de las Fallas
Fisuras y Grietas Manchas de humedad Desprendimiento de friso Desprendimiento del concreto Filtraciones en cubiertas de techo Exposición del acero de refuerzo	Las fallas que se encontraron con más frecuencia fueron fisuras y grietas en cerramientos, con frecuencia en la junta de paredes, ventanas y puertas en la totalidad de los módulos. En segundo lugar, manchas de humedad en cerramientos y filtraciones en cubiertas de techo.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	

Figura 9. Planilla de Inspección Visual de la Escuela Primaria Armando Schwarck Anglade
Fuente: Elaboración propia (Pérez et al., 2022).

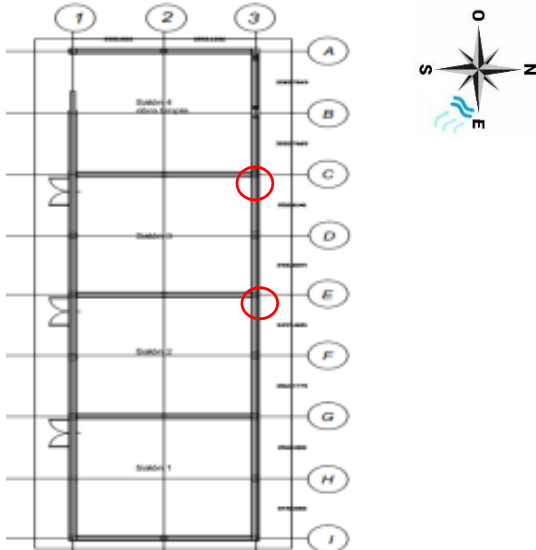
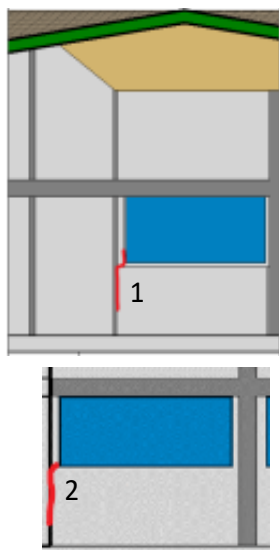
 PLANILLA DE SINTOMATOLOGÍA DE FALLAS 	
Nombre de la Institución: Armando Schwarck Anglade	N° de Planilla: 1/5
Ubicación: Intersección Calle Pedro Calles con Av. Principal Hugo Chávez Frías, Vía Las Lapas, Falcón.	Módulo: 4
Tipo de Estructura: Aporticada de Concreto Armado.	Tipo de Elemento: Pared
Fecha Construcción: 2006	Subsistema: Cerramiento
Croquis del Área en Estudio	Dibujo del Elemento
	
Fotografías	Descripción de la Falla
1  2 	1. Se observa una grieta vertical remarcada en color rojo en el eje 3, entre ejes C-D, del salón 2 módulo 4. La grieta tiene anchos de 0.70 mm en la parte superior, 0.30 mm en la parte central e inferior. La longitud de 0.74 m. 2. Se observa una grieta vertical remarcada en color rojo en el eje 3, entre ejes G-H, del salón 3, módulo 4. La grieta tiene anchos de 0.50 mm en la parte superior, 0.10 mm en la parte central e inferior. La longitud de 0.98 m.
	Hipótesis Es probable que la fisura se haya originado por movimientos de la estructura, efectos de columna corta o el diferencial de densidad entre los elementos bloque-columna.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	Fecha Inspección: 22/07/2021

Figura 10. Planilla de Sintomatología de Fallas. Módulo 4. 1/3

Fuente: Elaboración propia (Pérez et al., 2022).

PLANILLA DE SINTOMATOLOGÍA DE FALLAS	
Nombre de la Institución: Armando Schwarck Anglade	Nº de Planilla: 2/5
Ubicación: Intersección Calle Pedro Calles con Av. Principal Hugo Chávez Frías, Vía Las Lapas, Falcón.	Módulo: 4
Tipo de Estructura: Aporticada de Concreto Armado.	Tipo de Elemento: Columna
Fecha Construcción: 2006	Subsistema: Estructural
Croquis del Área en Estudio	Dibujo del Elemento
Fotografías	Descripción de la Falla
	Se observa desprendimiento del concreto y exposición del acero de refuerzo en la columna ubicada en el Eje 1-H en el salón 1 módulo 4. No se tuvo acceso al aula, fotos desde la ventana. El área aproximada del acero expuesto es de 0.40m x 0.15m = 0.06m²
	Hipótesis
	Se presume que la corrosión es debida al bajo espesor de recubrimiento de las columnas, aunado al ambiente agresivo al que está expuesta la edificación.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	Fecha Inspección: 4/03/2021

Figura 11. Planilla de Sintomatología de Fallas Módulo 4. 2/3.

Fuente: Elaboración propia (Pérez et al., 2022).

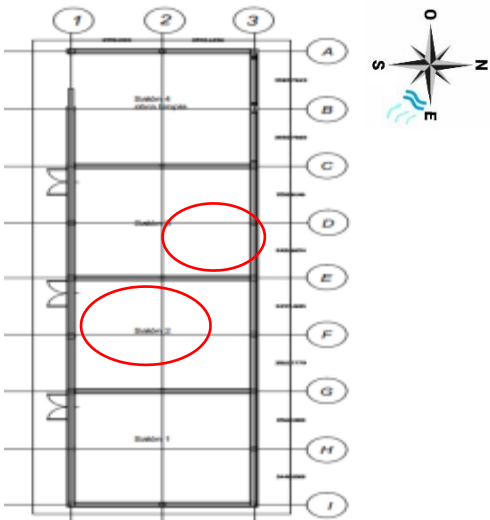
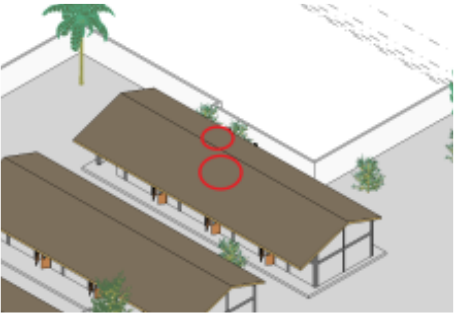
 PLANILLA DE SINTOMATOLOGÍA DE FALLAS 	
Nombre de la Institución: Armando Schwarck Anglade	Nº de Planilla: 4/5
Ubicación: Intersección Calle Pedro Calles con Av. Principal Hugo Chávez Frías, Vía Las Lapas, Falcón.	Módulo: 4
Tipo de Estructura: Aporticada de Concreto Armado.	Tipo de Elemento: Losa Techo
Fecha Construcción: 2006	Subsistema: Cubierta Techo
Croquis del Área en Estudio	Dibujo del Elemento
	
Fotografías	Descripción de la Falla
	1. Se observa mancha de humedad en la parte interna del techo de machihembrado del salón 3 módulo 4 ubicado en los ejes 1-2 entre ejes C-D. 2. Se observa mancha negra de humedad en la parte interna del techo de machihembrado del salón 2 módulo 4, ubicado entre ejes F-G y 2-3 .
	Hipótesis
	Se presume que las manchas de humedad en el machihembrado se deben a la falta de un gotero en el borde del techo que lo proteja de las filtraciones. También puede ser que faltó extender el material impermeabilizante para cubrir el borde del techo, ocasionando que el agua se filtre entre el impermeabilizante y la madera.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	Fecha Inspección: 4/03/2021

Figura 12. Planilla de Sintomatología de Fallas Módulo 4. 3/3.

Fuente: Elaboración propia (Pérez et al., 2022).

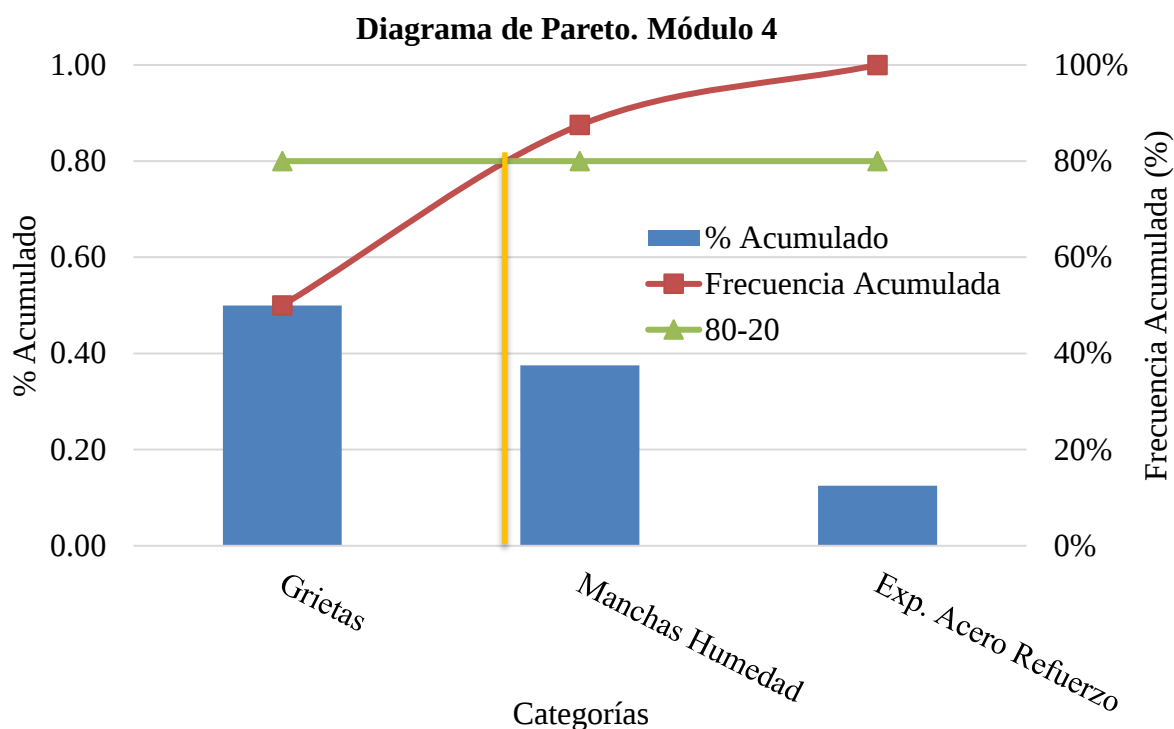


Figura 13. Diagrama de fallas de la Escuela Armando Schwarck Anglade, Módulo 4.
Fuente: Elaboración propia (Pérez et al., 2022).

En el diagrama de Pareto de la figura 13 se puede apreciar que el 80% de las fallas corresponden a: grietas y manchas de humedad, filtraciones por deficiente impermeabilización del techo, manchas de humedad proveniente de tuberías aguas blancas, ausencia de canales de colección aguas de lluvia que desencadena en empozamiento de agua y permite que las paredes se humedezcan, la presencia de oxidación en marcos de ventanas y puertas se debe al ingreso de iones cloruros al medio, en vista de que esta edificación se encuentra expuesta en un ambiente agresivo y por último el desprendimiento del concreto se genera debido a la corrosión que se presenta en elementos estructurales. Este tipo de fallas en la edificación, producto de la interacción con el ambiente se podrían evitar con diseños de mezcla de concreto de relación a/c bajas, contenidos de cemento suficiente y el uso de aditivos, así como la colocación cuidadosa y curado de los elementos vaciados (Sanjuan M., Castro P., 2001).

4.2.2 Caracterización del ambiente.

El medio ambiente en el que se encuentra la escuela es muy similar al de la Escuela José Ramón Yépez, por encontrarse en el mismo municipio y cercanas entre sí, por lo que se tomaron consideraciones ambientales similares. Por otra parte, la escuela está ubicada entre 1 y 1.5 Km de distancia a la línea de la costa, esta clasificación no está disponible en el rango mencionado por la Norma Técnica 4015:2012 Concreto Durabilidad. Sin embargo, puede decirse que a esta distancia la edificación es atacada por corrosión por cloruros al encontrarse a menos de los 2.000 m del mar, rango en el que la bruma marina tiene afectación sobre las estructuras. Tomando estas consideraciones, se clasifica a la estructura como tipo M4 (de clase marina, con miembros exteriores de estructuras en las proximidades de la línea de la costa (de 5 a 500 m). Aun cuando está fuera del rango de distancia debido a las características de sus síntomas la corrosión se da por cloruros y no por carbonatación.

Este inconveniente para clasificar el ambiente según su exposición sirve de comentario para la norma NTF-4015, en la que se sugiere agregar una clasificación de exposición ambiental para las clases marinas que están situadas hasta los 2 Km de distancia de la costa, que es el rango donde los vientos marinos pueden llegar de manera significativa.

4.2.3 Cálculo del índice de priorización de edificios para la gestión del riesgo sísmico.

Para el Módulo 4 de la Escuela Armando Schwarck Anglade, tomado como caso representativo de la institución, la asignación de los índices se realizó de la siguiente manera.

El Índice de Amenaza $I_A = 0,56$ es idéntico al de la Escuela José Ramón Yépez, pues ambas se ubican en el mismo municipio y zona sísmica (zona 4, $A_o = 0,20$ g, Tabla 1).

Para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad I_v (ecuación 2), cada subíndice se determinó como sigue.

- El índice de antigüedad $I_1 = 15$ corresponde a una edificación construida en 2006, posterior a la vigencia de la norma sismo-resistente COVENIN 1756-2001, por lo que se le asigna el valor más bajo de la tabla de antigüedad.
- El índice del tipo estructural $I_2 = 40$ es el mismo que el de la Escuela José Ramón Yépez, al compartir el sistema aporticado de concreto armado con relleno de bloques de cemento (Tabla 2).
- El índice de irregularidades $I_3 = 30$ se asignó por la presencia de columnas cortas detectadas en la inspección visual, irregularidad que concentra esfuerzos ante sismos y que es especialmente preocupante dado que la edificación es reciente.
- El índice $I_4 = 0$ se asignó por tratarse de una edificación de un solo piso.
- El índice $I_5 = 20$ se asignó por la ausencia de canales de drenaje en el módulo, condición que incrementa la vulnerabilidad según la tabla correspondiente aun cuando el terreno es plano.
- Finalmente, el índice de deterioro $I_6 = 50$ refleja el estado del módulo: agrietamientos en elementos estructurales con corrosión de moderada gravedad (subíndice 35), agrietamientos moderados en paredes de relleno (subíndice 10) y estado general de mantenimiento regular (subíndice 5).

Seguidamente, aplicando la ecuación (2):

$$I_v = (15 * 0,25) + (40 * 0,35) + (30 * 0,25) + (0 * 0,07) + (20 * 0,04) + (50 * 0,04) \quad (8)$$

$$I_v = 28,05 \quad (9)$$

De acuerdo a la Tabla 4, un valor de $I_v = 28,05$ corresponde a una vulnerabilidad calificada como Media Baja. El Índice de Importancia $I_i = 0,90$ se obtiene de la Tabla 3 por ser un edificio educacional del grupo A2 con matrícula de entre 100 y 500 personas (386 alumnos).

Con estos valores, el Índice de Riesgo resulta:

$$I_r = 0,56 * 28,05 = 15,71 \quad (10) \rightarrow \text{Riesgo Medio Alto (Tabla 5)}$$

Finalmente, el Índice de Priorización:

$$I_p = 0,56 * 28,05 * 0,90 \quad (11)$$

$$I_p = 14,14 \quad (12) \rightarrow \text{Prioridad P8 (Tabla 6)}$$

El mismo procedimiento se aplicó a los demás módulos de la institución, obteniendo en todos los casos el mismo nivel de prioridad P8. Los resultados del Módulo se resumen en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados del método FUNVISIS para la Escuela Armando Schwarck Anglade.

Índice de Amenaza (I_a)	0,56	
Índice de Vulnerabilidad	α_i	I_i
I. asociado a la antigüedad (I_1)	0,25	15
I. asociado al tipo estructural (I_2)	0,35	40
I. asociado a las irregularidades (I_3)	0,25	30
I. asociado a la profundidad del depósito (I_4)	0,07	0
I. asociado a la topografía y drenajes (I_5)	0,04	20
I. asociado al grado de deterioro (I_6)	0,04	50
	$I_v=$	28,05
Índice de Importancia (I_i)	0,90	
Índice de Riesgo (I_r)	15,71	
Calificación del riesgo	Medio Alto	
Índice de Priorización (I_p)	14,14	

De esta manera, se consigue la prioridad con la que se debe realizar un estudio más profundo estructural y sísmico para el módulo 4 de la E.P.B Armando Schwarck Anglade según la metodología planteada, estableciéndose en este caso como prioridad P8, teniendo en cuenta que la prioridad máxima es P1 y la menor es P12.

5. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo fue evaluar la vulnerabilidad sísmica cualitativa y establecer la priorización de intervención en dos edificaciones escolares de concreto armado ubicadas en el municipio Silva, estado Falcón. Para ello se realizó una inspección preliminar detallada que combinó el levantamiento de sintomatología de fallas, la caracterización del ambiente de exposición y la aplicación del método de Índice de Priorización FUNVISIS (López et al., 2014). A continuación, se presentan las principales conclusiones.

Las fallas predominantes en ambas edificaciones fueron principalmente: grietas, fisuras, manchas de humedad y desprendimientos, con patrones asociados a procesos de corrosión por cloruros propios de ambientes marinos.

En la Escuela José Ramón Yépez, el deterioro es especialmente severo: la cercanía al mar, la falta de canalización de aguas pluviales y el mantenimiento deficiente, agravado por las modificaciones constructivas de 2007 y los efectos del sismo de 2009, han generado un estado avanzado de degradación que incluye exposición del acero de refuerzo en elementos estructurales. En la Escuela Armando Schwarck Anglade, las fallas son de menor gravedad en cuanto a los elementos estructurales, aunque su aparición en una edificación construida en 2006 evidencia que las condiciones ambientales agresivas afectan incluso a construcciones recientes.

Ambas instituciones se encuentran en un ambiente marino corrosivo clasificado como M4 según la norma NTF 4015:2012. Ninguna fue construida con las especificaciones de durabilidad que esta norma establece para ambientes agresivos, lo que ha incidido negativamente en su estado de conservación. En el caso de la Escuela Armando Schwarck Anglade, la distancia a la costa (entre 1 y 1,5 km) excede el rango contemplado por la norma, lo que pone de manifiesto la necesidad de incorporar una subclase de exposición que cubra estructuras ubicadas hasta los 2.000 m de la línea

de costa.

La originalidad del estudio reside en haber integrado el grado de deterioro por corrosión, documentado durante la inspección preliminar detallada, como variable de entrada en el subíndice I_6 del método FUNVISIS. Esta vinculación entre el estado físico real de las edificaciones y la priorización sísmica permite reflejar, de manera cualitativa, el efecto del deterioro sobre la vulnerabilidad estructural: aunque el peso relativo de I_6 en el índice global es de 0,04, su incidencia es determinante cuando el deterioro alcanza valores máximos, como ocurre en los módulos más deteriorados de la Escuela José Ramón Yépez.

Aplicando el método FUNVISIS, los módulos 2 y 3 de la Escuela José Ramón Yépez presentan la mayor vulnerabilidad y riesgo (prioridad P5, vulnerabilidad elevada, riesgo alto). Este resultado se explica principalmente por la combinación de dos factores: la antigüedad de la edificación (construida en 1954, $I_1 = 80$) y el grado de deterioro severo observado ($I_6 = 90$, con exposición del acero de refuerzo en elementos estructurales). Esta combinación hace que el índice de vulnerabilidad I_v supere el umbral de la categoría Elevada ($I_v > 40$), lo que, ponderado por la amenaza sísmica de zona 4 ($I_A = 0,56$) y la importancia educacional ($I_I = 0,90$), sitúa al módulo en una prioridad de intervención alta.

En contraste, la Escuela Armando Schwarck Anglade, construida en 2006 bajo normativa sismorresistente vigente ($I_1 = 15$), presenta prioridades P8 (vulnerabilidad media baja) en todos sus módulos aun con deterioro moderado ($I_6 = 50$), lo que refleja la incidencia positiva del cumplimiento normativo en la resistencia sísmica. Estas diferencias reflejan el peso combinado de la antigüedad, el tipo estructural, las irregularidades y, especialmente, el grado de deterioro observado en cada módulo.

Es fundamental subrayar que este estudio tiene un alcance estrictamente cualitativo. La inspección preliminar detallada, si bien constituye un insumo valioso para orientar la toma de decisiones y priorizar intervenciones, no sustituye una inspección detallada con ensayos de laboratorio (carbonatación, determinación de cloruros, resistividad eléctrica, resistencia a la compresión, potencial de corrosión, entre otros). Solo a partir de dicha inspección detallada es posible emitir un dictamen técnico definitivo y cuantitativo sobre la condición estructural de las edificaciones y diseñar las intervenciones de rehabilitación correspondientes.

En este sentido, se recomienda priorizar la realización de una inspección detallada en los módulos con prioridad P5, particularmente los módulos 2 y 3 de la Escuela José Ramón Yépez, siguiendo las recomendaciones de Arrieta et al. (2013) en cuanto a las características de la mezcla en ambientes agresivos tipo M4.

Finalmente, se recomienda establecer lineamientos normativos para la evaluación de la vulnerabilidad cualitativa de edificaciones de interés nacional, considerando explícitamente que las estructuras con procesos avanzados de corrosión en sus armaduras presentarán un comportamiento mecánico inferior al esperado en diseño, lo que incrementa su vulnerabilidad y riesgo sísmico real respecto a los valores obtenidos por métodos que no incorporan el estado de deterioro como variable.

6. REFERENCIAS

- Arrieta de Bustillos, L. et al. (2013), *"Un Enfoque Integral. Prevención de daños y rehabilitación de estructuras de concreto Armado."* Barquisimeto, Venezuela.
- Beeby, A. W. (1993). *Durabilidad de estructuras de hormigón: Guía de diseño CEB*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. ISBN 84-7493-183-5
- Bertolini, L. (2009) *Materiais de Construção: patologia, reabilitação, prevenção*. São Paulo. ISBN 978-85-7975-010-6.

- Fondonorma - Fondo para la Normalización y Certificación (2001). *Edificaciones sismorresistentes (COVENIN 1756:2001)*. Ministerio de Ciencia y Tecnología; Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.
- Instituto Nacional de Estadística. (2014). *XIV Censo Nacional de Población y Vivienda: Resultados total nacional de la República Bolivariana de Venezuela*. ine.gov.ve
- Fondonorma (2012). *Concreto. Durabilidad (NTF 4015:2012)*. Fondo Norma.
- Helene, P., Pereira, F. (2007). *Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto*. ISBN 85-60457-00-3
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). (2011). *Estadísticos Básicos, Temperaturas y Humedades Relativas Medias*. Venezuela. <http://www.inameh.gob.ve/web/PDF/gpdata/saved/Estadisticos%20Basicos%20Temperaturas%20y%20Humedades%20Relativas%20Medias.pdf>
- López, O., Coronel, G., Rojas, R. (2014). *Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes*. Rev. Fac. Ing. UCV [online]. 2014, vol. 29, n. 4 [cited 2026-03-24], pp. 107-126. Available at: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652014000400010&lng=es&nrm=iso. ISSN 0798-4065.
- Olavarrieta M., Giménez A., Acero A., Chong J., Ramones K., Reinoza L. (2020) *Estudio de la vulnerabilidad sísmica cualitativa en instituciones escolares de concreto armado del estado Falcón*. Revista Gaceta Técnica, Artículo de Divulgación. 21(1), 64-75, enero-junio, ISSN 1856-9560 (Print) ISSN: 2477-9539 (Online) Legal Deposit pp 1999907LA22 ppi201602LA4730. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.31162.75209>
- Olavarrieta M., Tovar O., Salcedo D. (2017). *Unidad educativa Simón Bolívar. Clasificación ambiental y la influencia sobre sus fallas*. Revista Gaceta Técnica. 18(1) 53-70, ISSN 1856-9560 (Print) ISSN: 2477-9539 (Online) Legal Deposit pp 1999907LA22 ppi201602LA4730.
- Pérez G., Rojas D., Olavarrieta M., (2022). *Caracterización de fallas y estimación de la vulnerabilidad sísmica cualitativa de edificaciones escolares en concreto armado expuestas en ambiente marino*. Undergraduate Thesis, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, p. 3.
- Porrero, J. (2014), *Manual de Concreto Estructural*. Caracas, Venezuela. Editorial Sidetur.
- Salas J., Sierralta Y. (2015). *Caracterización de la sintomatología de fallas e identificación de condiciones de riesgos sísmicos, geotécnicos e hídricos en forma cualitativa en la Institución E.B.N. Pablo Manzano Veloz*. Undergraduate Thesis, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, p. 3.
- Sanjuan M., Castro P., (2001). *Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Troconis O., Romero A., Andrade C., Helene P., y Díaz I. (1997). *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.
- Troconis, M., Fernández, N. (2007). *Normas y Recomendaciones para el Diseño de Edificaciones Educativas*. FEDE. Caracas, Venezuela.