

Caracterização de falhas e estimativa da vulnerabilidade sísmica qualitativa de duas edificações escolares em concreto armado localizadas no Estado de Falcón.

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

* Autor de Contato: ingenierogabrielaperez@gmail.com

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

Recebido: 04/03/2026 | Correções recebidas: 23/04/2026 | Aceito: 10/07/2026 | Publicado: 01/09/2026

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi caracterizar as falhas e estimar a vulnerabilidade sísmica qualitativa de duas edificações escolares de concreto armado localizadas no estado de Falcón, Venezuela. A metodologia empregada incluiu inspeção visual com registro fotográfico das falhas, classificação do ambiente segundo a Norma NTF 4015:2012 e determinação da vulnerabilidade sísmica qualitativa por meio do método FUNVISIS (Código FUN-002, 2014). Os resultados mostraram que ambas as escolas estão expostas a um ambiente corrosivo por cloretos (M4). A originalidade do estudo reside na aplicação do método FUNVISIS em edificações escolares situadas em ambiente marinho. A análise do risco sísmico revelou que uma das escolas apresenta vulnerabilidade elevada (P5), enquanto a segunda apresentou vulnerabilidade média-baixa (P8).

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

Contribuição de cada autor

Neste trabalho, o autor G. A. Pérez contribuiu para a ideia original (10%), a coleta de dados (50%), o desenvolvimento experimental (50%), a discussão dos resultados (40%), a redação do trabalho (50%) e a revisão e edição do trabalho (30%). O autor D. C. Rojas contribuiu para a ideia original (10%), a coleta de dados (50%), o desenvolvimento experimental (50%), a discussão dos resultados (40%), a redação do trabalho (50%) e a revisão e edição do trabalho (30%). O autor M. A. Olavarrieta contribuiu para a ideia original (80%), a discussão dos resultados (20%) e a revisão e edição do trabalho (40%).

Licença Creative Commons

Copyright (2026) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no segundo número do ano 2027, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do primeiro, número do ano de 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

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

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.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. +52 1 983 419 8241, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

A corrosão do aço das armaduras constitui a principal causa de deterioração prematura do concreto armado, com consequências especialmente críticas em zonas costeiras. A Venezuela, e em particular o estado de Falcón, enfrenta esse desafio de forma acentuada: seu ambiente marinho, com elevada concentração de íons cloreto, acelera a corrosão e compromete a segurança estrutural das edificações (Porrero, 2014). O mecanismo da corrosão apresenta uma incidência relativa de 20% entre as manifestações patológicas em estruturas de concreto armado. Trata-se de um fenômeno de natureza eletroquímica, que é acelerado na presença de agentes agressivos externos provenientes do ambiente ou daqueles incorporados à mistura (Helene P., 2007).

Essa problemática se agrava nas instituições públicas de ensino, cuja manutenção preventiva costuma ser insuficiente ou inexistente, conforme estabelecido no manual de projeto da Fundação de Edificações e Instalações Escolares — FEDE (Troconis e Fernández, 2007). Muitas dessas edificações apresentam um estado de deterioração que as torna inseguras tanto para os estudantes quanto para sua utilização como abrigos em situações de emergência. Além disso, não atendem aos requisitos de durabilidade estabelecidos na Norma Técnica Fondonorma Concreto, NTF 4015:2012. Diante dessa realidade, pesquisadores da Universidade Centro-Occidental “Lisandro Alvarado” vêm desenvolvendo, há mais de quinze anos, uma linha de pesquisa voltada à caracterização dos efeitos de ambientes agressivos sobre o concreto armado em edificações escolares do estado de Falcón (Olavarrieta et al., 2017a; Olavarrieta et al., 2017b; Olavarrieta et al., 2020).

No que se refere à avaliação qualitativa da vulnerabilidade sísmica, diversos métodos têm sido propostos para diferentes tipologias estruturais; entretanto, muitos apresentam limitações relacionadas às variáveis consideradas ou ao escopo de sua aplicação. Nesse contexto, o método do Índice de Priorização FUNVISIS (López et al., 2014) mostra-se pertinente, pois incorpora variáveis como a ameaça sísmica local, a vulnerabilidade estrutural e a importância da edificação, permitindo estabelecer hierarquias de intervenção de maneira expedita. A pertinência desse método para edificações escolares, entre os diversos métodos qualitativos existentes, foi respaldada por Salas e Sierralta (2015) em seu trabalho especial de graduação, no qual concluíram que essa era a metodologia que melhor se adequava às características desse tipo de edificação. A contribuição metodológica do presente trabalho consiste em integrar o grau de deterioração por corrosão, documentado por meio de uma inspeção preliminar detalhada, como variável de entrada no subíndice de vulnerabilidade do método FUNVISIS. Essa vinculação entre o estado físico real das edificações e seu potencial comportamento sísmico constitui a originalidade do estudo: não se trata de uma avaliação isolada da vulnerabilidade sísmica, mas de uma análise que articula a deterioração observada com a priorização das intervenções.

É necessário esclarecer o escopo metodológico do estudo. Foi realizada uma inspeção preliminar detalhada, que permitiu documentar a sintomatologia das falhas e caracterizar o ambiente de exposição por meio de observação visual, medição com fissurômetro e fita métrica e registro fotográfico sistemático. Esse nível de inspeção não inclui ensaios de diagnóstico especializado, tais como determinação da profundidade de carbonatação, teor de cloretos, resistividade elétrica, resistência à compressão, potencial de corrosão ou termografia. A inspeção preliminar detalhada, associada à aplicação do método FUNVISIS, objeto deste artigo, constitui uma etapa prévia de priorização, destinada a orientar a tomada de decisões, mas que, em nenhuma circunstância, substitui uma avaliação diagnóstica especializada.

Consequentemente, o objetivo deste trabalho é avaliar a vulnerabilidade sísmica qualitativa e estabelecer a priorização das intervenções em duas edificações escolares de concreto armado localizadas no município de Silva, estado de Falcón, por meio da aplicação do método do Índice de Priorização FUNVISIS (López et al., 2014), utilizando, para tanto, a caracterização das falhas

resultante da inspeção preliminar detalhada como subsídio para a determinação do grau de deterioração estrutural. Este artigo é derivado de um trabalho especial de graduação (Pérez et al., 2022).

2. PROCEDIMENTO

O estudo foi desenvolvido em três fases sequenciais: (i) inspeção preliminar detalhada das edificações; (ii) caracterização do ambiente de exposição; e (iii) cálculo dos índices de vulnerabilidade, risco e priorização sísmica, de acordo com a metodologia FUNVISIS.

A primeira fase consistiu em uma visita às instituições objeto do estudo: a Escola Primária Nacional Bolivariana José Ramón Yépez e a Escola Primária Estadual Armando Schwarck Anglade. Nessa visita, foi realizada uma entrevista com as autoridades de cada instituição de ensino, com o objetivo de informá-las sobre os objetivos da pesquisa e obter a autorização correspondente para a realização das inspeções. A inspeção preliminar tem como propósito coletar as informações necessárias para determinar a natureza e a origem do problema e, assim, subsidiar a realização de um estudo mais detalhado. Durante essa primeira visita, foram coletados dados gerais das edificações: nome completo da instituição, localização geográfica, data de construção, uso para o qual foi projetada e uso atual, número de alunos matriculados e antecedentes fornecidos pelos responsáveis pelas instituições. Todo esse procedimento foi realizado seguindo as diretrizes do Manual de Inspeção, Avaliação e Diagnóstico de Corrosão em Estruturas de Concreto Armado (Troconis et al., 1997). Na Figura nº 1, apresenta-se um esquema amplo e geral para o desenvolvimento do projeto de diagnóstico de uma estrutura de concreto armado. Desse esquema derivam todas as fases do processo, sendo que o avanço de cada uma delas dependerá do escopo do trabalho. Especificamente, esta pesquisa teve início com a inspeção preliminar, que incluiu o exame visual da estrutura e a coleta de antecedentes das edificações, sem a realização de ensaios ou estudos comprobatórios, em razão dos custos que estes implicariam. Entretanto, foi realizado um pré-diagnóstico das edificações e, posteriormente, foram efetuados os levantamentos dos sintomas das falhas, que permitiram sua caracterização e a formulação das possíveis hipóteses relacionadas às suas causas.

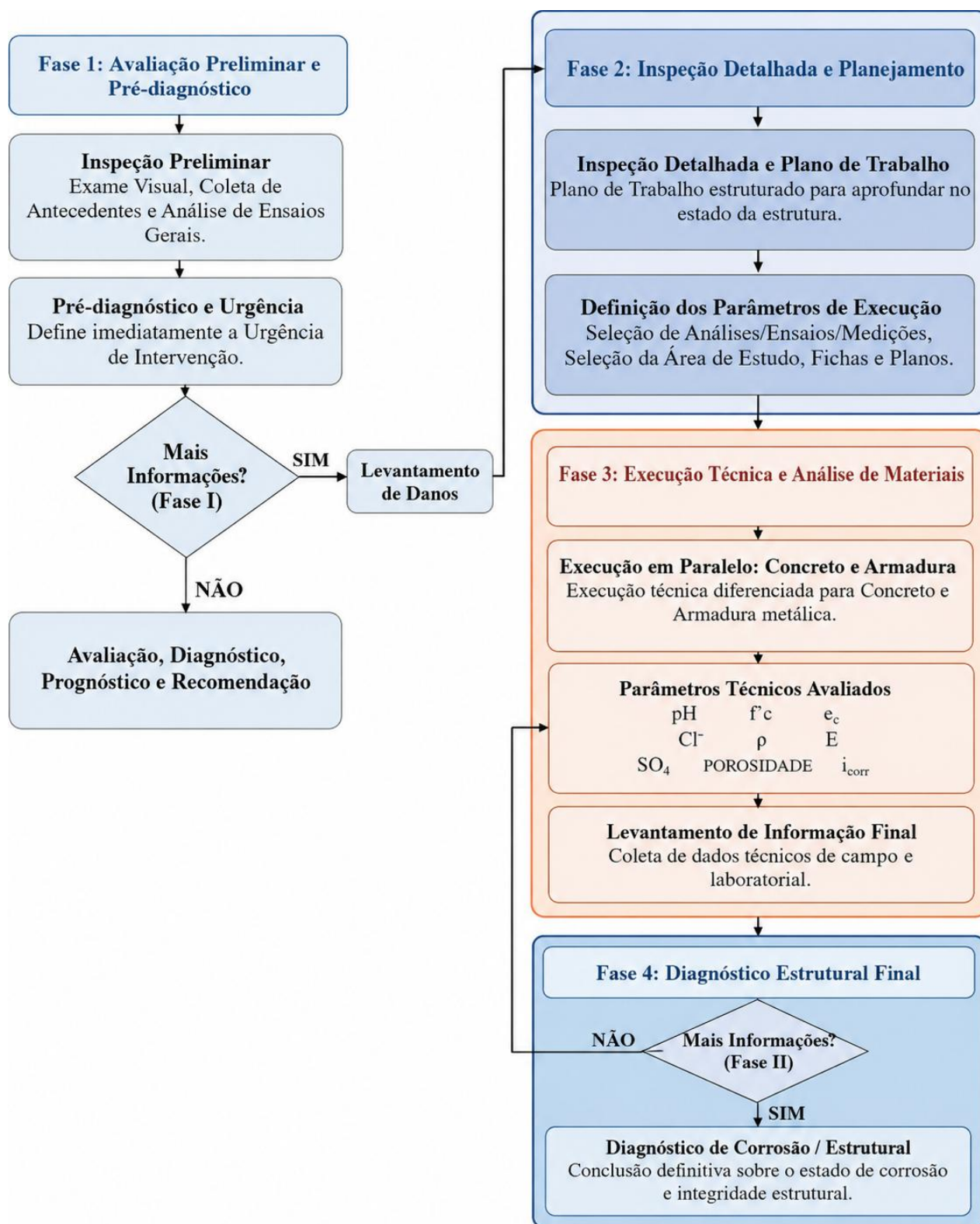


Figura 1. Esquema metodológico para o diagnóstico de uma estrutura de concreto armado
Fonte: Troconis et al., 1997.

Na segunda visita, foi realizado o levantamento planimétrico das edificações, com o objetivo de identificar seus elementos estruturais e subsistemas. Os sistemas inspecionados foram classificados em: estrutural, instalações sanitárias, coberturas, fachadas e áreas circundantes. Simultaneamente, foi realizada a caracterização das falhas por meio de inspeção visual. Esse levantamento foi

realizado em duas etapas complementares. Na primeira, foi registrada a sintomatologia das falhas utilizando fissurômetro, fita métrica e planilhas de anotação, com registro fotográfico, priorizando os elementos estruturais (vigas e pilares). A cada sintoma foi atribuído um código de identificação, por exemplo: A1-1 para fissuras, A1-2 para trincas, B2 para manchas de óxido e C2-2 para desprendimento de concreto, com base no Manual DURAR, com adaptações próprias. Na segunda etapa, cada falha foi documentada na Planilha nº 2, registrando-se: tipo de elemento afetado, subsistema, localização em relação aos eixos estruturais, croqui, fotografias, descrição da extensão e gravidade e hipótese da causa.

A caracterização das falhas não se limitou ao levantamento visual, mas incluiu a identificação, classificação, localização, quantificação (comprimento e espessura) e a formulação de hipóteses sobre sua origem, de acordo com as diretrizes do Manual DURAR. Esse processo permitiu estabelecer o diagnóstico preliminar de cada edificação e sua relação com os mecanismos de deterioração presentes. É precisamente a informação obtida nessa inspeção que serve como subsídio para atribuir o valor do subíndice I_6 (grau de deterioração), cuja magnitude varia entre 0 (sem deterioração) e 90 (deterioração severa com exposição do aço da armadura), incidindo diretamente no Índice de Vulnerabilidade (I_v) e, conseqüentemente, na priorização sísmica final.

A segunda fase consistiu em caracterizar o ambiente de exposição de cada estrutura, utilizando a tabela de classes de exposição relacionadas às condições ambientais da norma NTF 4015:2012, que estabelece valores-limite para agentes agressivos, relações água/cimento e critérios de porosidade do concreto. As condições de uso das edificações estão sujeitas a ações físico-químicas ambientais com as quais entram em contato, podendo envolver ações químicas, transporte através de materiais porosos, variações de umidade, variações de temperatura e ações expansivas. Todos esses fenômenos podem levar a estrutura à perda de desempenho e comprometer as funções para as quais foi originalmente projetada, ou seja, sua funcionalidade. Portanto, a determinação das variáveis ambientais permitirá prever uma possível evolução dos processos de degradação (Bertolini L., 2009).

A terceira fase correspondeu ao cálculo dos índices de vulnerabilidade, risco e priorização sísmica, seguindo a metodologia estabelecida pela FUNVISIS no projeto *Índices de Priorização para a Gestão do Risco Sísmico em Edificações Existentes* (López et al., 2014). Essa metodologia não quantifica de forma absoluta os níveis de vulnerabilidade e risco, mas estabelece prioridades para a tomada de decisões, com o objetivo de determinar quais edificações necessitam, com maior urgência, de um estudo estrutural quantitativo mais aprofundado.

3 ESTIMAÇÃO DOS ÍNDICES DO MÉTODO QUALITATIVO

Para a análise qualitativa da vulnerabilidade sísmica, foram utilizadas as equações apresentadas a seguir.

Índice de Priorização de Edificações:

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

Onde I_A é o índice de ameaça, I_v é o índice de vulnerabilidade e I_I é o índice de importância. O índice de ameaça pode variar entre 0,05 e 1,00, o índice de vulnerabilidade entre 6,0 e 100 e o índice de importância entre 0,80 e 1,00. O índice de priorização pode variar entre 1 e 100.

Este índice considera a aceleração do terreno em rocha (A_0) definida para as sete zonas sísmicas da Venezuela, estabelecida na Norma COVENIN 1756-2001 “Edificações Sismorresistentes”, bem como os efeitos topográficos que possam afetar a estabilidade da estrutura em estudo. Esses valores foram obtidos da tabela de valores do Índice de Ameaça proposta por López et al. (2014), conforme

apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Valores do Índice de Ameaça. Fonte: Índices de Priorização para a Gestão do Risco Sísmico em Edificações Existentes. 2014.

Zona	Perigo Sísmico	A _o (Covenin 2001)	I _A	
			Sem efeitos topográficos	Com efeitos topográficos
7	Elevado	0,40	0,90	1
6		0,35	0,80	0,88
5		0,30	0,68	0,75
4	Intermediário	0,25	0,56	0,63
3		0,20	0,45	0,50
2	Baixo	0,15	0,34	0,38
1		0,10	0,23	0,25
0		-	0,05	0,05

O terreno onde estão localizadas as escolas, no estado de Falcón, é classificado, segundo a Norma COVENIN 1756-2001, como zona sísmica 4 (aceleração de pico do terreno $A_o = 0,25$ g), sem efeitos topográficos significativos, razão pela qual é atribuído $I_A = 0,56$ para ambas as escolas.

3.2 Índice de Vulnerabilidade (I_v)

O Índice de Vulnerabilidade (I_v) é dado por:

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

Onde I_i é o índice de vulnerabilidade específica e α_i é seu peso relativo, ambos apresentados na Tabela 2 – Índices de vulnerabilidade específica (I_i) e pesos relativos (α_i). Cada subíndice representa uma dimensão distinta da vulnerabilidade estrutural e é determinado a partir da inspeção visual, sem a necessidade de uma análise estrutural avançada.

O primeiro subíndice, I_1 , reflete a antiguidade da construção e a norma de projeto utilizada à época, atribuindo valores mais elevados às edificações anteriores às normas sismorresistentes modernas. O segundo, I_2 , corresponde ao tipo estrutural predominante, diferenciando sistemas com maior ou menor capacidade de dissipação de energia diante de um evento sísmico. O terceiro, I_3 , penaliza a presença de irregularidades geométricas ou deficiências estruturais identificadas visualmente, tais como pilares curtos, pavimentos flexíveis ou justaposição entre módulos, sendo calculado como o somatório dos subíndices associados a cada irregularidade identificada, com valor máximo de 100. O quarto, I_4 , considera o aumento da vulnerabilidade em edificações de vários pavimentos implantadas sobre depósitos de sedimentos de grande profundidade. O quinto, I_5 , incorpora a influência da topografia do terreno e a ausência de sistemas de drenagem. Por fim, o sexto, I_6 , quantifica o grau de deterioração observável nos elementos estruturais, paredes de preenchimento e no estado geral de manutenção da edificação. Cada subíndice é ponderado por meio de um coeficiente α_i , estabelecido na Tabela 2, que representa seu peso relativo na vulnerabilidade global, sendo o tipo estrutural ($\alpha_2 = 0,35$) e a antiguidade ($\alpha_1 = 0,25$) os fatores de maior incidência (López et al., 2014). Extraído da Tabela nº 2.

Tabela 2. Índice de vulnerabilidade específica e pesos relativos. Fonte: Índices de Priorização para a Gestão do Risco Sísmico em Edificações Existentes.

I_i	Vulnerabilidade associada a:	α_i
I_1	Antiguidade e norma utilizada	0,25
I_2	Tipo estrutural	0,35
I_3	Irregularidade	0,25
I_4	Profundidade do depósito	0,07
I_5	Topografia e drenagem	0,04
I_6	Grau de deterioração	0,04

3.3 Índice de Importância (I_i)

O valor desse índice é obtido a partir da Tabela 3, em função do uso da edificação e do número de ocupantes, e tem como finalidade considerar os efeitos decorrentes do uso das construções e do número de pessoas (N) expostas no momento da ocorrência de um evento sísmico. São atribuídos índices mais elevados às edificações essenciais, como estabelecimentos de saúde e escolas que funcionam como abrigos temporários em situações de emergência. Para edificações escolares, considera-se o número total de alunos, docentes e funcionários administrativos presentes na instituição durante o horário regular de funcionamento.

Tabela 3. Valores do Índice de Importância. Fonte: Índices de Priorização para a Gestão do Risco Sísmico em Edificações 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 trabalho, ambas as instituições são classificadas no grupo A2 (edificações educacionais que servem como abrigo temporário), com um número de ocupantes entre 100 e 500 pessoas, resultando em $I_i = 0,90$ para ambos os casos.

3.4 Avaliação dos Índices de Vulnerabilidade, Risco e Priorização

A vulnerabilidade é definida qualitativamente, conforme apresentado na Tabela 4, a partir do valor obtido no Índice de Vulnerabilidade (I_v).

Tabela 4. Avaliação do Índice de Vulnerabilidade.

Fonte: Índices de Priorização para a Gestão do Risco Sísmico em Edificações Existentes. 2014.

Classificação da Vulnerabilidade	I_v Faixa de Valores
Muito Elevada	$60 \leq I_v \leq 100$
Elevada	$40 \leq I_v < 60$
Média Alta	$30 \leq I_v < 40$
Média Baixa	$20 \leq I_v < 30$
Baixa	$10 \leq I_v < 20$
Muito Baixa	$0 \leq I_v < 10$

Por outro lado, qualitativamente, o Índice de Risco é obtido pelo produto dos Índices de Ameaça (I_A) e de Vulnerabilidade (I_v) e, posteriormente, pela identificação do valor correspondente na Tabela 5. Ou seja:

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

Tabela 5. Avaliação do Índice de Risco.

Fonte: *Índices de Priorização para a Gestão do Risco Sísmico em Edificações Existentes*. 2014.

Classificação do Risco	I_R Faixa de Valores
Muito Elevado	$60 \leq I_R \leq 100$
Elevado	$40 \leq I_R < 60$
Alto	$25 \leq I_R < 40$
Médio Alto	$15 \leq I_R < 25$
Médio Baixo	$8 \leq I_R < 15$
Baixo	$3 \leq I_R < 8$
Muito Baixo	$0 \leq I_R < 3$

Por fim, obtém-se uma avaliação qualitativa do Índice de Priorização, utilizando os critérios apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Avaliação dos Índices de Priorização.

Fonte: *Índices de Priorização para a Gestão do Risco Sísmico em Edificações Existentes*. 2014.

Classificação da Priorização	I_P Faixa de Valores
P1 (Prioridade 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 (Prioridade mínima)	$0 \leq I_P < 2$

Seguindo esse procedimento, foram calculados os índices de todos os módulos de ambas as escolas, cujos resultados são apresentados na seção Análise dos Resultados.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Escola Primária Nacional Bolivariana José Ramón Yépez

A escola está localizada na paróquia de Boca de Aroa, Município de Silva, Estado de Falcón, aproximadamente a 400 m da costa (Figura 2). Foi construída em 1954 e começou a funcionar em 1º de outubro de 1956.

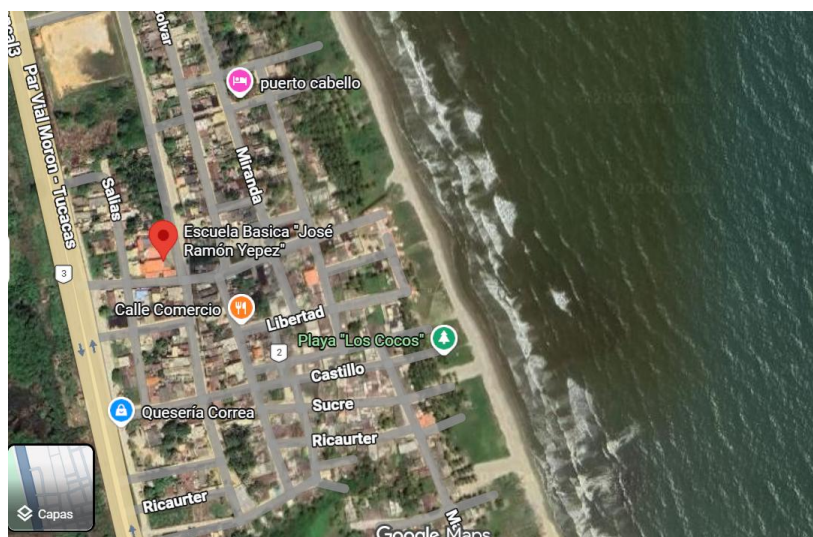


Figura 2. Imagem de satélite da Escola Primária Nacional Bolivariana José Ramón Yépez
Fonte: Google Earth, 2021.

A instituição é composta por quinze (15) salas de aula, das quais apenas oito (8) estavam em funcionamento. Na ocasião, contava com 246 alunos, 9 docentes, 4 funcionários de serviços gerais e 5 cozinheiras. A estrutura é aporticada em concreto armado. As janelas e portas são protegidas por elementos metálicos (grades). Adicionalmente, durante a reforma realizada em 2007, as portas e janelas de toda a instituição foram substituídas: os blocos de ventilação foram substituídos por janelas panorâmicas, e as coberturas de amianto foram substituídas por coberturas de madeira tipo macho e fêmea, apoiadas sobre terças metálicas e, em alguns casos, de madeira. Também existem áreas circundantes com calçadas e um muro perimetral que delimita integralmente a área ocupada pela escola. Para a realização deste estudo, a instituição foi dividida em 8 módulos. Sabe-se que, no ano de 2009, foram registrados movimentos sísmicos na região de Boca de Aroa, com epicentro em Morón. Segundo o relato dos profissionais entrevistados, após esses eventos foram observadas diferentes falhas em paredes e pisos, principalmente fissuras e trincas.

4.1.1 Caracterização da sintomatologia das falhas

Após a realização do levantamento da sintomatologia das falhas, foi possível identificar aquelas que ocorrem com maior frequência. As Figuras 3 a 6 apresentam a planilha de inspeção visual da estrutura e as planilhas de sintomatologia mais representativas dos danos observados no Módulo 1. Nessas planilhas, são registrados, para cada falha: sua localização no croqui (distinguindo-se a orientação norte e a direção do mar), a extensão ou gravidade, a descrição e caracterização e a hipótese provável de sua causa. Esse nível de detalhamento foi mantido em todas as planilhas elaboradas para cada módulo, cujos dados completos são apresentados nos anexos do trabalho especial de graduação original (Pérez et al., 2022).

 PLANILHA DE INSPEÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA 	
Nome da Instituição: José Ramon Yépez	Ano de Construção: 1954
Localização: 100m do bloco 3, Rua Piar entre José Ramón Yépez e Salias.	Data da Inspeção: 01-Março-2021, 02-Março-2021 e 23-Julho-2021
Tipo de Estrutura: Edificação Aporticada de Concreto Armado.	Nº de Pisos: 2
Croqui da Área em Estudo	
	
Fotografias	
	
Fissuras Observadas	Extensão e Gravidade das Fissuras
Fissuras e trincas Manchas de umidade Desprendimento do concreto Desprendimento do reboco Manchas de óxido Exposição do aço de reforço Aço delaminado Espessura do revestimento menor que 0.5cm	As falhas que foram encontradas com maior frequência foram fissuras e trincas em elementos estruturais e fechamentos. Seguidas de manchas de umidade em fechamentos e paredes perimetrais. Manchas de óxido, desprendimento do concreto, e delaminação do aço de reforço em elementos estruturais. Falha em vigas de telhado.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	

Figura 3. Planilha de Inspeção Visual da E.P.N.B. José Ramón Yépez

Fonte: Elaboração própria (Pérez et al., 2022).

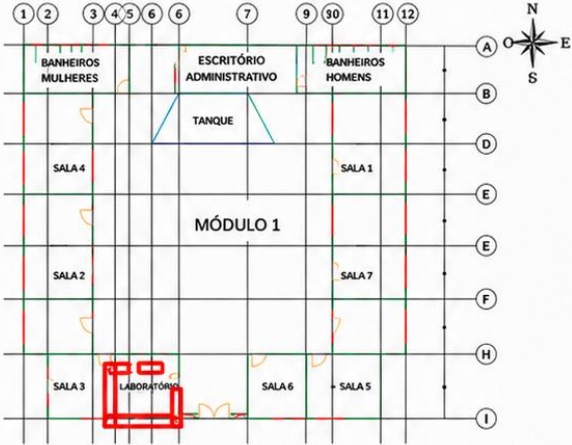
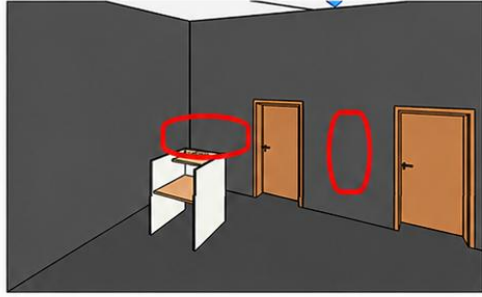
 PLANILHA DE SINTOMATOLOGÍA DE FALHAS 	
Nome da Instituição: José Ramon Yépez	Nº da Planilha: 5/23
Localização: 100 m do bloco 3, Rua Piar entre José Ramón Yépez e Salias.	Módulo: 1
Tipo de Estrutura: Edificação Aporticada de Concreto Armado.	Tipo de Elemento: Parede
Ano de Construção: 1954	Subsistema: Fechamento
Croqui da Área em Estudo 	Desenho do Elemento 
Fotografias 1  2 	Descrição da Falha Observa-se umidade, eflorescência e inchamento do reboco no terço inferior de todos os fechamentos da direção. Também se observa queda do revestimento principal (pintura).
	Hipótese Presume-se que a umidade presente se deve a efeitos de capilaridade causados pela ascensão da água contida nos cimentos em direção à estrutura através dos poros do concreto da laje, dos blocos e do próprio reboco, liberando sais e deixando manchas brancas. Somado a isso, neste caso específico do fechamento localizado entre os eixos H-1 e 4-6 (foto 1) existe uma possível filtração causada pelas instalações sanitárias do banheiro adjacente.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	Data da Inspeção: 02-Março-2021

Figura 4. Planilha de Sintomatologia de Falhas. Módulo 1. 1/3
Fonte: Elaboração própria (Pérez et al., 2022).

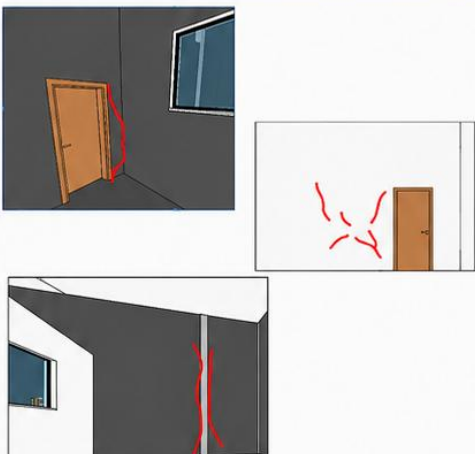
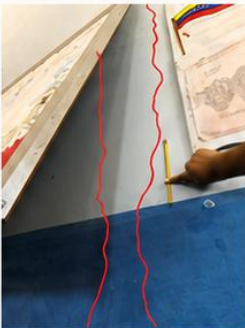
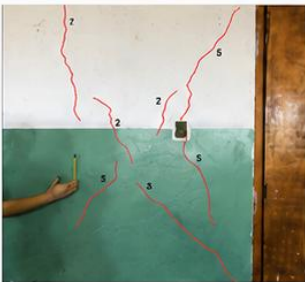
 PLANILHA DE SINTOMATOLOGÍA DE FALHAS 	
Nome da Instituição: José Ramon Yépez	Nº da Planilha: 6/23
Localização: 100m do bloco 3, Rua Piar entre José Ramón Yépez e Salias.	Módulo: 1
Tipo de Estrutura: Edificação Aporticada de Concreto Armado.	Tipo de Elemento: Parede
Ano de Construção: 1954	Subsistema: Fechamento
Croqui da Área em Estudo	Desenho do Elemento
	
Fotografias	Descrição da Falha
1  2  3 	Observa-se abaulamento do concreto, além de: 1. Fissura no fechamento externo da sala 1 marcada em vermelho, localizada no eixo H entre eixos 3-4. A fissura parte do canto superior esquerdo do marco da porta, com comprimento de 1,24 m e espessura de 0,05-0,70-0,80 mm até o revestimento amarelo. Continua até a borda inferior do marco da porta com comprimento de 1,31 m e espessura > 2mm. 2. Fissuras no fechamento do eixo H entre eixos 1-4 marcadas em vermelho, tanto do lado da sala 1 como da sala 2. Em cada sala foram observadas duas fissuras, uma localizada no terço central do fechamento de 0,70 m de comprimento e mais de 2mm de espessura. A segunda inicia no topo do fechamento com 2,52 m e espessuras de 0,10-0,08-0,60-0,50-0,30-1,50 mm. 3. Diferentes fissuras e trincas marcadas em vermelho, no fechamento interno da sala 1, localizado no eixo H entre eixos 3-4.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	Hipótese
	Supõe-se que as fissuras em forma de "X" (cruz) se originaram pelos movimentos sísmicos ocorridos no ano de 2009.
	Data da Inspeção: 02-Março-2021

Figura 5. Planilha de Sintomatologia de Falhas. Módulo 1. 2/3

Fonte: Elaboração própria (Pérez et al., 2022).

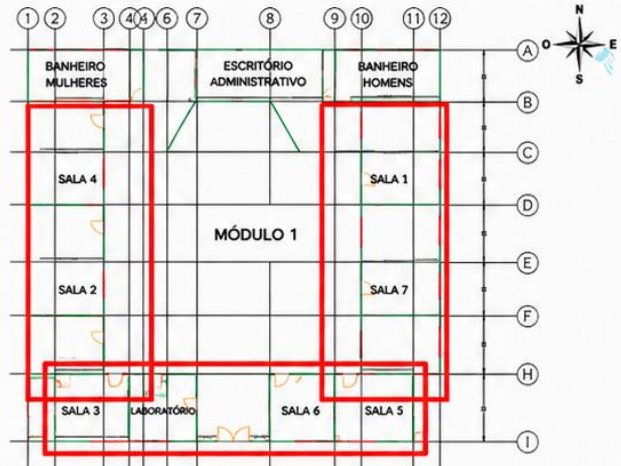
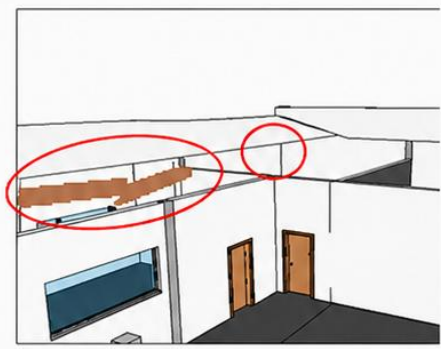
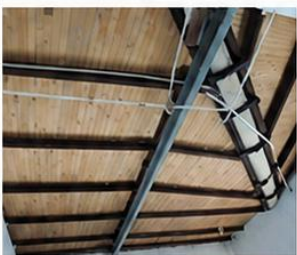
 PLANILHA DE SINTOMATOLOGIA DE FALHAS 	
Nome da Instituição: José Ramon Yépez	Nº da Planilha: 7/23
Localização: 100m do bloco 3, Rua Piar entre José Ramón Yépez e Salias.	Módulo: 1
Tipo de Estrutura: Edificação Aporticada de Concreto Armado	Tipo de Elemento: Laje de Cobertura
Ano de Construção: 1954	Subsistema: Cobertura de Telhado
Croqui da Área em Estudo	Desenho do Elemento
	
Fotografias	Descrição da Falha
1  2  3  4 	Observa-se os tetos de machimbre das salas do módulo 1: -Manchas de umidade em toda a cobertura -Desprendimento nas terças de madeira do telhado -Manchas de óxido nas terças metálicas do telhado -Cabos elétricos soltos, sem proteção nem cobertura No teto da sala 7 (foto 4) observam-se rupturas nas terças de madeira do telhado. A estrutura de suporte do forro também apresenta desprendimento e há manchas de óxido.
	Hipótese
	Presume-se que as manchas de umidade e o desprendimento do machimbre sejam devidos ao estancamento da água da chuva na cobertura, provavelmente devido à deterioração do material impermeabilizante por falta de manutenção. -As terças do telhado da sala 7 podem estar rotas devido a cargas excessivas em pontos determinados.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	Data da Inspeção: 02-Março-2021

Figura 6. Planilha de Sintomatologia de Falhas. Módulo 1. 3/3

Fonte: Elaboração própria (Pérez et al., 2022).

Em toda a instituição, foram contabilizadas 160 falhas durante a inspeção realizada, conforme apresentado na Figura 7. Os resultados foram analisados por meio de um Diagrama de Pareto, também conhecido como Método 80-20, no qual são apresentadas as principais falhas identificadas no Módulo 1 da Escola José Ramón Yépez. Esse diagrama é de grande utilidade para identificar e priorizar as principais causas dos problemas, ordenando-as da maior para a menor frequência de ocorrência, permitindo, assim, concentrar a atenção naquelas que requerem maior prioridade.

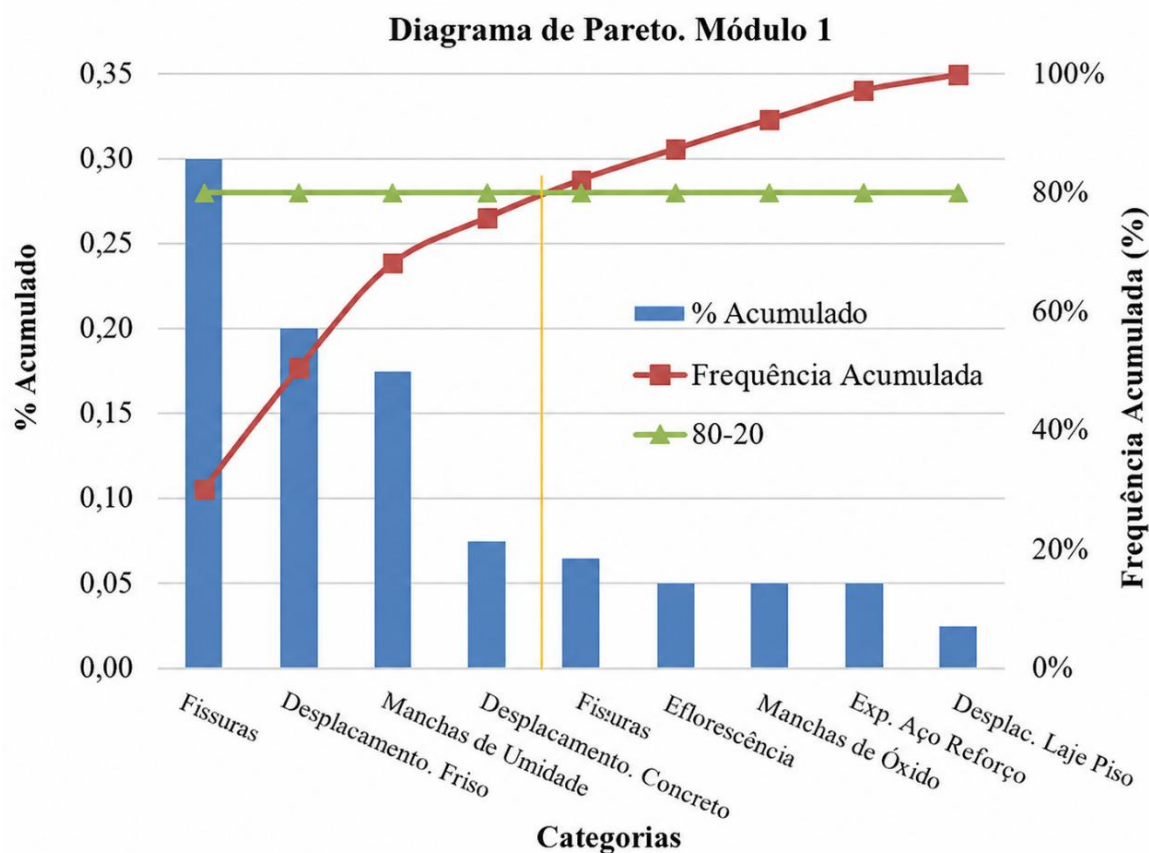


Figura 7. Diagrama de Pareto da Escola José Ramón Yépez, Módulo 1.
Fonte: Elaboração própria (Pérez et al., 2022).

O diagrama mostra que 80% das falhas correspondem a trincas, desprendimento do revestimento, manchas de umidade e desprendimento do concreto. As trincas nos elementos estruturais estão associadas principalmente à corrosão provocada pelo ataque de íons cloreto. Essa hipótese decorre da classificação do ambiente marinho e da característica das trincas, que se desenvolvem na direção das armaduras.

O mecanismo tem início com o aumento de volume superficial decorrente da formação dos produtos de corrosão. Sob a ação dos cloretos, ocorre a ruptura da camada passiva, desencadeando o processo de corrosão do aço. Inicialmente, surge uma fissura, seguida pela formação de uma trinca, pela expansão e desprendimento do concreto e, posteriormente, pela exposição completa da barra de armadura na superfície. A importância da evolução da fissuração em relação à durabilidade depende fundamentalmente de as fissuras seguirem a mesma direção das barras de armadura, especialmente sob o ponto de vista da corrosão, uma vez que também podem reduzir a aderência e a resistência aos esforços cortantes (Beeby A., 1993). Outras trincas surgiram após a substituição de portas, grades e janelas, realizada em 2007, ou como consequência de esforços de flexão em elementos sem pilares de apoio próximos. As manchas de umidade nos elementos de vedação são atribuídas à ausência de sistemas de captação e condução de águas pluviais e a danos nas

tubulações. O desprendimento do revestimento, por sua vez, está relacionado à presença persistente de umidade nas paredes e ao desenvolvimento de processos corrosivos nas armaduras. É importante destacar que, em duas áreas da escola, foi observada a sobreposição das coberturas, condição que, embora possa ser inicialmente classificada como um defeito construtivo, pode gerar problemas mais graves ao longo do tempo e aumentar a vulnerabilidade sísmica do módulo.

4.1.2 Caracterização do Ambiente

De acordo com os dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia (INAMEH), 2011, sabe-se que a temperatura média anual no município de Silva, estado de Falcón, é de 26,6 °C, e a umidade relativa média anual é de 70%. A direção predominante do vento médio horário na região, que incide sobre a estrutura, é proveniente do Leste durante todo o ano. A escola objeto do estudo encontra-se a menos de 500 metros da costa, razão pela qual está suscetível a processos de corrosão decorrentes da ação de cloretos provenientes do ambiente marinho. Considerando todas essas informações e tomando como base a Tabela de Classes de Exposição Relacionadas às Condições Ambientais, é possível classificar o ambiente como de classe Marinha, subclasse “em zona aérea com distâncias de 5 a 500 m da linha de costa”. O tipo de processo é “Corrosão por Cloretos” e, finalmente, a designação é M4 (Elementos externos de estruturas nas proximidades da linha de costa — de 5 a 500 m), conforme as diretrizes da Norma Técnica FONDONORMA 4015:2012 — Concreto: Durabilidade.

4.1.3 Cálculo do Índice de Priorização de Edificações para a Gestão do Risco Sísmico

A escola estudada está localizada na zona sísmica 4, segundo a norma COVENIN 1756-2001 (Ao = 0,20 g), sem efeitos topográficos relevantes, razão pela qual é atribuído IA = 0,56 (Tabela 1).

Para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade, foram determinados os seguintes subíndices:

- $I_1 = 80$, por ter sido construída em 1954, anteriormente à existência de qualquer norma sismorresistente venezuelana.
- $I_2 = 40$, por se tratar de um sistema aporticado de concreto armado.
- $I_3 = 20$, devido à presença de justaposição laje-contralaje entre coberturas de diferentes módulos.
- $I_4 = 0$ e $I_5 = 0$, por se tratar de uma edificação térrea implantada em terreno plano.
- $I_5 = 0$ foi atribuído por se tratar de uma construção situada em terreno plano e com presença de sistemas de drenagem.
- $I_6 = 90$, devido ao estado avançado de deterioração observado durante a inspeção visual, que incluiu exposição das armaduras e trincas decorrentes da corrosão em elementos estruturais.

Aplicando-se a Equação (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 acordo com a Tabela 4, $I_v = 42,6$ corresponde a uma vulnerabilidade classificada como Elevada. A escola é classificada no grupo A2, com 246 alunos e 18 funcionários, totalizando um número de ocupantes dentro da faixa de 100 a 500 pessoas, razão pela qual $I_i = 0,90$ (Tabela 3).

Com estes valores

$$I_r = 0,56 * 42,6 = 23,86 \quad (6) \rightarrow \text{Risco Médio Alto (Tabela 5)}$$

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

O mesmo procedimento foi aplicado aos oito módulos restantes.
Os resultados completos do Módulo 1 são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Resultados do método FUNVISIS para a Escola José Ramón Yépez.

Índice de Ameaça (I_A)	0,56	
Índice de Vulnerabilidade	α_i	I_i
I. associado à antiguidade (I_1)	0,25	80
I. associado ao tipo estrutural (I_2)	0,35	40
I. associado às irregularidades (I_3)	0,25	20
I. associado à profundidade do depósito (I_4)	0,07	0
I. associado à topografia e drenagem (I_5)	0,04	0
I. associado ao grau de deterioração (I_6)	0,04	90
	$I_v =$	42,6
Índice de Importância (I_i)	0,90	
Índice de Risco (I_r)	23,86	
Classificação do Risco	Médio Alto	
Índice de Priorização (I_p)	21,47	

O valor do Índice de Priorização obtido ($I_p = 21,47$) é utilizado para determinar o valor correspondente ao Módulo 1 da Escola José Ramón Yépez. Nesse caso, foi obtida a prioridade P6. Utilizando o mesmo procedimento apresentado anteriormente, foram calculados os índices dos demais módulos que compõem a instituição (8 no total). O módulo da escola com o menor índice de priorização foi o Módulo 2, que obteve um índice P5. Ou seja, trata-se do módulo com maior quantidade de danos observados e que necessitaria de atenção mais imediata.

4.2 Escola Primária Estadual Armando Schwarck Anglade.

A Escola Primária Estadual Armando Schwarck Anglade está localizada no Município de Silva, Estado de Falcón, a aproximadamente 1,5 km da costa (Figura 8). Foi fundada no ano de 2006. A instituição conta com 386 alunos, distribuídos entre o ensino primário, pré-escolar e maternal, além de 16 docentes. Trata-se de uma edificação com sistema estrutural em concreto armado, constituída por um único pavimento e dividida em 5 módulos.

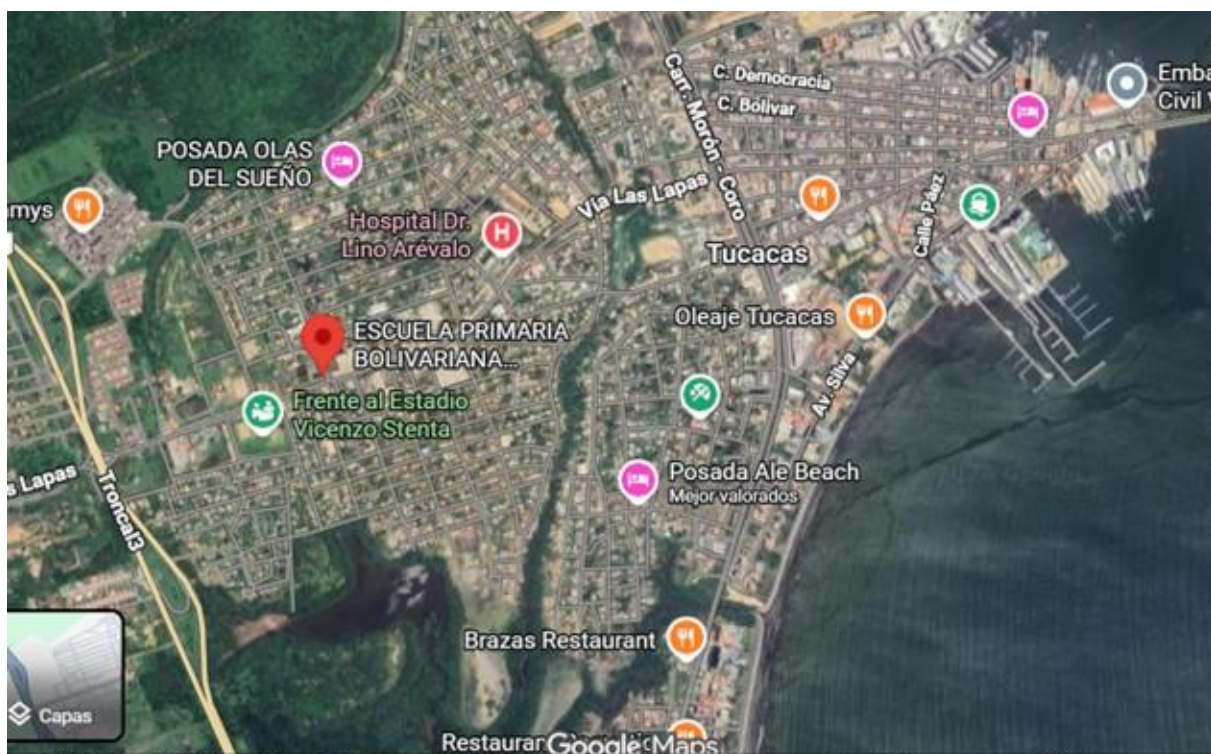


Figura 8. Imagem de satélite da Escola Primária Estadual Armando Schwarck Anglade.
Fonte: Google Earth, 2021.

4.2.1 Caracterização das falhas.

As Figuras 9 a 12 apresentam a planilha de inspeção visual e as planilhas de sintomatologia mais representativas do Módulo 4. Durante a inspeção, foram identificadas 75 falhas na instituição. As mais frequentes foram trincas (34 no total) e fissuras (17). Também foram registradas 11 manchas de umidade, 4 infiltrações e 4 pontos de oxidação em esquadrias metálicas e, em menor proporção: desprendimento de concreto com exposição da armadura, uma rede de trincas, empoçamento de água nos corredores, exposição pontual da armadura, desprendimento da laje de piso e eflorescência. As falhas predominavam nos elementos de vedação.

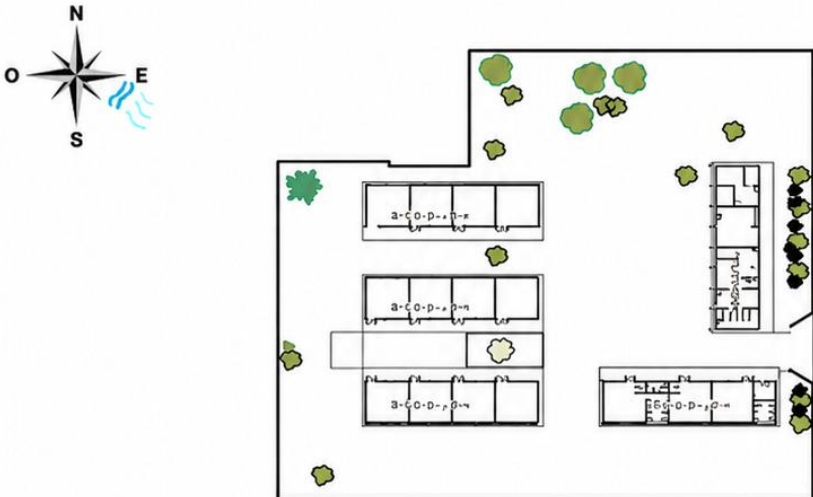
 PLANILHA DE INSPEÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA 	
Nome da Instituição: Armando Schwarck Anglad	Ano de Construção: 2006
Localização: Interseção Rua Calle Pedro Calles com Av. Principal Hugo Chávez Frías, Via Las Lapas, Falón.	Data da Inspeção: 04-Março-2021 e 22-Julho-2021
Tipo de Estrutura: Edificação Aporticada de Concreto Armado.	Nº de Pisos: 1
Croqui da Área em Estudo	
	
Fotografias	
	
Falhas Observadas	Extensão e Gravidade das Falhas
Fissuras e Rachaduras Manchas de Umidade Desprendimento do Revestimento Desprendimento do Concreto Filtrações na Cobertura de Telhado Exposição do Aço de Reforço	As falhas que foram encontradas com mais frequência foram fissuras e rachaduras em fechamentos, com frequência na junção de paredes, janelas e portas e na totalidade dos módulos. Em segundo lugar, manchas de umidade em fechamentos e infiltrações em coberturas de telhado.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	

Figura 9. Planilha de Inspeção Visual da Escola Primária Armando Schwarck Anglade
 Fonte: Elaboração própria (Pérez et al., 2022).

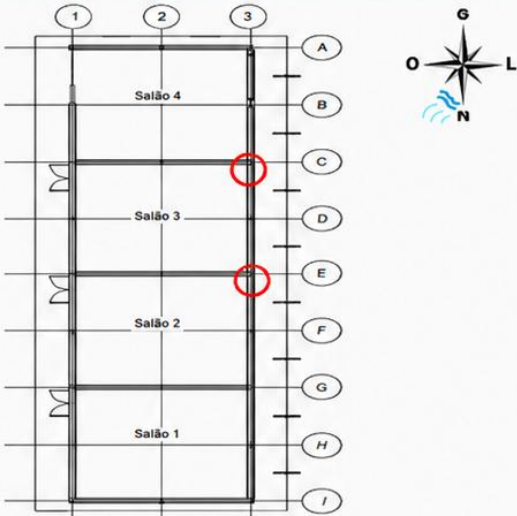
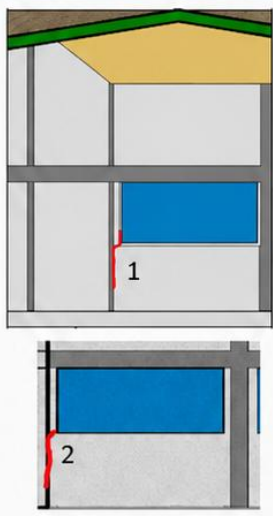
 PLANILHA DE SINTOMATOLOGÍA DE FALHAS 	
Nome da Instituição: Armando Schwarck Anglade	Nº da Planilha: 1/5
Localização: Interseção Rua Pedro Calles com Av. Principal Hugo Chávez Frías, Via Las Lapas, Falcón.	Módulo: 4
Tipo de Estrutura: Edificação Aporticada de Concreto Armado.	Tipo de Elemento: Parede
Data de Construção: 2006	Subsistema: Fechamento
Croqui da Área em Estudo 	Desenho do Elemento 
Fotografias 1  2 	Descrição da Falha 1. Observa-se uma fissura vertical marcada em vermelho no eixo 3, entre eixos C-D, do salão 2, módulo 4. A fissura tem uma abertura de 0,70 mm na parte superior, 0,30 mm na parte central e inferior. O comprimento é de 0,74 m. 2. Observa-se uma fissura vertical marcada em vermelho no eixo 3, entre eixos G-H, do salão 3, módulo 4. A fissura tem uma abertura de 0,50 mm na parte superior, 0,10 mm na parte central e inferior. O comprimento é de 0,98 m.
	Hipótese É provável que a fissura tenha se originado por movimentos da estrutura, efeitos de coluna curta ou diferencial de densidade entre os elementos bloco-coluna.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela	Data da Inspeção: 22/07/2021

Figura 10. Planilha de Sintomatologia de Falhas. Módulo 4. 1/3

Fonte: Elaboração própria (Pérez et al., 2022).

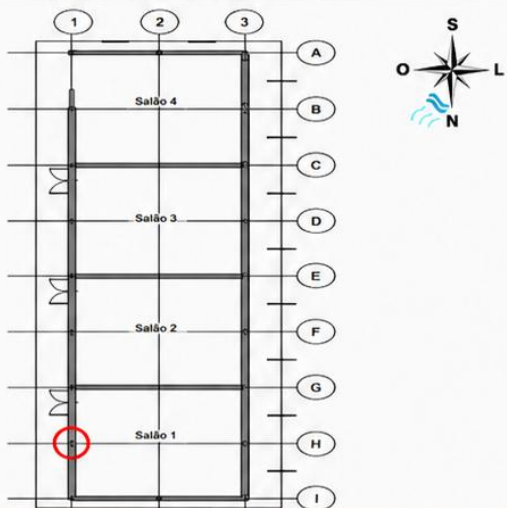
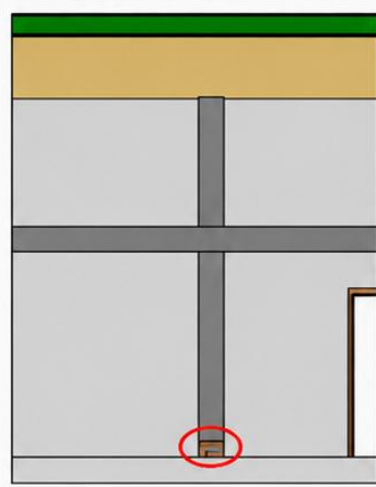
 PLANILHA DE SINTOMATOLOGIA DE FALHAS 	
Nome da Instituição: Armando Schwarck Anglade	Nº da Planilha: 2/5
Localização: Interseção Rua Pedro Calles com Av. Principal Hugo Chávez Frías, Via Las Lapas, Falcón.	Módulo: 4
Tipo de Estrutura: Edificação Aporticada de Concreto Armado.	Tipo de Elemento: Coluna
Data de Construção: 2006	Subsistema: Estrutural
Croqui da Área em Estudo	Desenho do Elemento
	
Fotografias	Descrição da Falha
	Observa-se desprendimento do concreto e exposição do aço de reforço na coluna localizada nos eixos E-I e 1-H no salão 1, módulo 4. Não foi possível acessar a sala, fotos tiradas da janela. A área aproximada do aço exposto é de 0,40m x 0,15m = 0,06m²
	Hipótese
	Supõe-se que a corrosão seja devido à baixa espessura do cobrimento das colunas, juntamente com o ambiente agressivo ao qual a edificação está exposta.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	Data da Inspeção: 4/03/2021

Figura 11. Planilha de Sintomatologia de Falhas. Módulo 4. 2/3.

Fonte: Elaboração própria (Pérez et al., 2022).

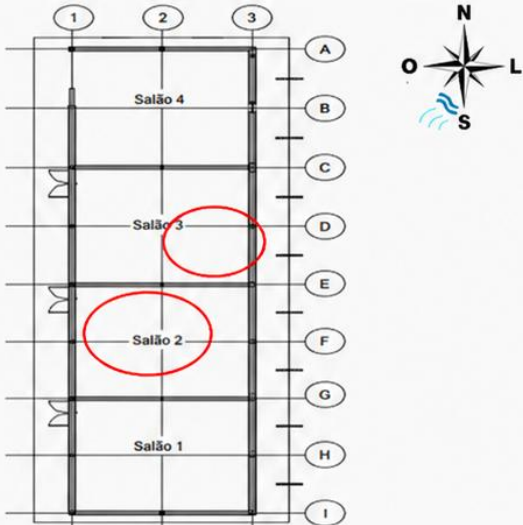
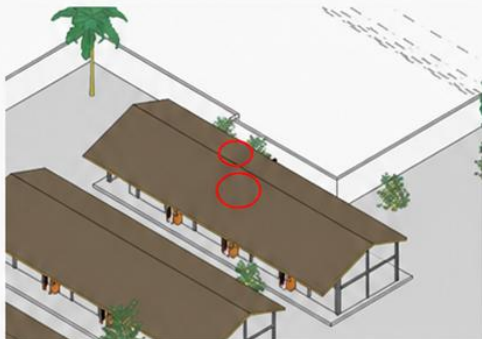
 PLANILHA DE SINTOMATOLOGIA DE FALHAS 	
Nome da Instituição: Armando Schwarck Anglade	Nº da Planilha: 4/5
Localização: Interseção Rua Pedro Calles com Av. Principal Hugo Chávez Frias, Via Las Lapas, Falcón.	Módulo: 4
Tipo de Estrutura: Edificação Aporticada de Concreto Armado.	Tipo de Elemento: Laje de Cobertura
Data de Construção: 2006	Subsistema: Cobertura de Telhado
Croqui da Área em Estudo	Desenho do Elemento
	
Fotografias	Descrição da Falha
	1. Observa-se mancha de umidade na parte interna do teto de madeira do salão 3, módulo 4, localizada nos eixos 1-2 entre eixos C-D. 2. Observa-se mancha escura de umidade na parte interna do teto de madeira do salão 2, módulo 4, localizada entre eixos F-G e 2-3.
	Hipótese
	Supõe-se que as manchas de umidade no madeiramento sejam devidas à falta de uma calha no bordo do telhado que impeça a filtração. Também pode ser que tenha faltado estender o material impermeabilizante para cobrir o bordo do telhado, ocasionando que a água se filtre entre o impermeabilizante e a madeira.
Elaborado por: Pérez Gabriela, Rojas Daniela.	Data da Inspeção: 4/03/2021

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

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

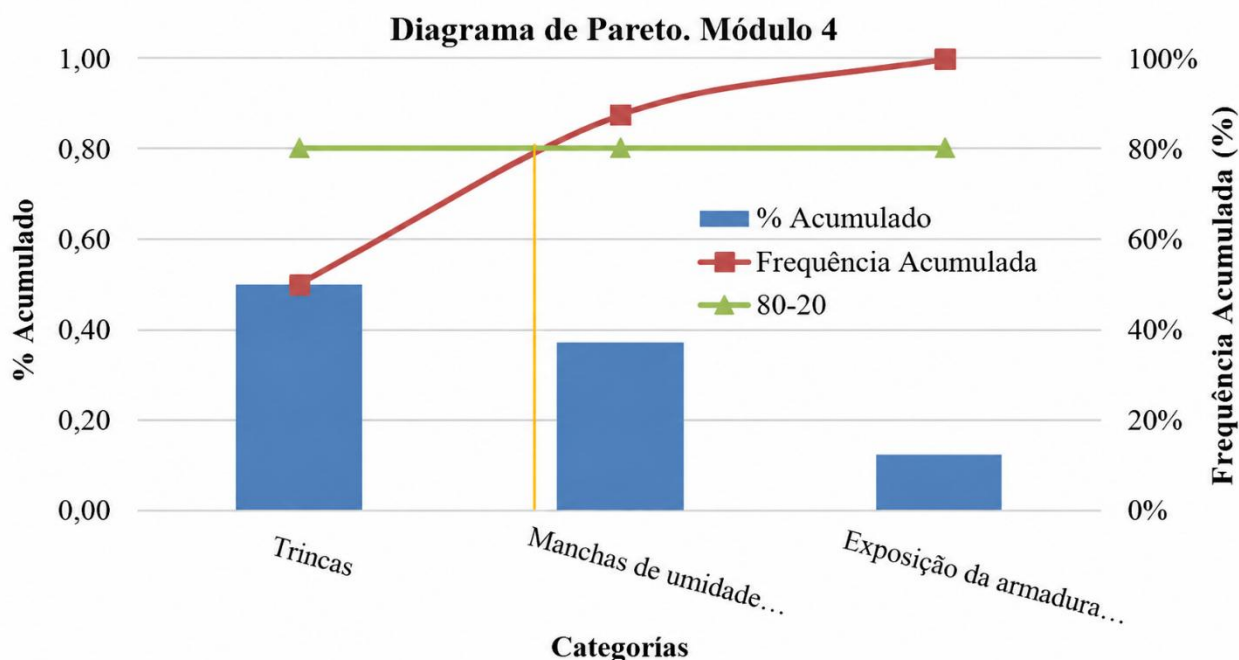


Figura 13. Diagrama de falhas da Escola Armando Schwarck Anglade, Módulo 4.
Fonte: Elaboração própria (Pérez et al., 2022).

No Diagrama de Pareto da Figura 13, pode-se observar que 80% das falhas correspondem a trincas e manchas de umidade, infiltrações decorrentes da impermeabilização deficiente da cobertura, manchas de umidade provenientes de tubulações de água potável e ausência de sistemas de coleta de águas pluviais, o que resulta no empoçamento de água e favorece o umedecimento das paredes. A presença de oxidação nos caixilhos de janelas e portas deve-se ao ingresso de íons cloreto no meio, considerando que essa edificação se encontra exposta a um ambiente agressivo. Por fim, o desprendimento do concreto ocorre em decorrência do processo de corrosão presente nos elementos estruturais. Esse tipo de falha na edificação, resultante da interação com o ambiente, poderia ser evitado por meio da utilização de dosagens de concreto com baixa relação a/c, teor adequado de cimento e uso de aditivos, bem como pela execução cuidadosa do lançamento e da cura dos elementos concretados (Sanjuan M., Castro P., 2001).

4.2.2 Caracterização do ambiente.

O ambiente em que a escola está localizada é muito semelhante ao da Escola José Ramón Yépez, por ambas se encontrarem no mesmo município e próximas entre si, razão pela qual foram adotadas considerações ambientais semelhantes. Por outro lado, a escola está localizada a uma distância entre 1 e 1,5 km da linha de costa, classificação que não está contemplada na faixa de distâncias estabelecida pela Norma Técnica NTF 4015:2012 — Concreto: Durabilidade. Entretanto, pode-se considerar que, nessa distância, a edificação está sujeita à corrosão por cloretos, por se encontrar a menos de 2.000 m do mar, faixa na qual a névoa salina pode exercer influência sobre as estruturas. Considerando essas condições, a estrutura é classificada como tipo M4 (classe marinha, com elementos externos de estruturas localizadas nas proximidades da linha de costa — de 5 a 500 m). Embora a edificação esteja fora dessa faixa de distância, as características dos sintomas observados indicam que a corrosão ocorre por ação de cloretos, e não por carbonatação. Essa dificuldade para classificar o ambiente em função de sua exposição constitui uma observação pertinente à norma NTF 4015, para a qual se sugere a inclusão de uma classificação de exposição ambiental destinada às classes marinhas situadas até 2 km de distância da costa, faixa na qual os ventos marinhos podem exercer influência significativa.

4.2.3 Cálculo do índice de priorização de edificações para a gestão do risco sísmico.

Para o Módulo 4 da Escola Armando Schwarck Anglade, considerado como caso representativo da instituição, a atribuição dos índices foi realizada da seguinte forma.

O Índice de Ameaça $I_A = 0,56$ é idêntico ao da Escola José Ramón Yépez, pois ambas estão localizadas no mesmo município e na mesma zona sísmica (zona 4, $A_o = 0,20$ g, Tabela 1).

Para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade I_v (Equação 2), cada subíndice foi determinado da seguinte forma:

- O índice de antiguidade $I_1 = 15$ corresponde a uma edificação construída em 2006, posteriormente à entrada em vigor da norma sismorresistente COVENIN 1756-2001, razão pela qual lhe é atribuído o menor valor da tabela de antiguidade.
- O índice do tipo estrutural $I_2 = 40$ é o mesmo da Escola José Ramón Yépez, por ambas apresentarem sistema apertado de concreto armado com preenchimento em blocos de concreto (Tabela 2).
- O índice de irregularidades $I_3 = 30$ foi atribuído devido à presença de pilares curtos identificados durante a inspeção visual, irregularidade que provoca concentração de esforços durante eventos sísmicos e que é especialmente preocupante considerando que se trata de uma edificação recente.
- O índice $I_4 = 0$ foi atribuído por se tratar de uma edificação de um único pavimento
- O índice $I_5 = 20$ foi atribuído devido à ausência de sistemas de drenagem no módulo, condição que aumenta a vulnerabilidade de acordo com a tabela correspondente, mesmo estando a edificação implantada em terreno plano.
- Por fim, o índice de deterioração $I_6 = 50$ representa o estado do módulo: trincas em elementos estruturais associadas à corrosão de gravidade moderada (subíndice 35), trincas moderadas nas paredes de preenchimento (subíndice 10) e estado geral de manutenção regular (subíndice 5).

Em seguida, aplicando-se a Equação (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 acordo com a Tabela 4, um valor de $I_v = 28,05$ corresponde a uma vulnerabilidade classificada como Média Baixa.

O Índice de Importância $I_i = 0,90$ é obtido a partir da Tabela 3, por se tratar de uma edificação educacional do grupo A2, com número de ocupantes entre 100 e 500 pessoas (386 alunos).

Com esses valores, o Índice de Risco resulta em:

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

Finalmente, o Índice de Priorização:

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

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

O mesmo procedimento foi aplicado aos demais módulos da instituição, obtendo-se, em todos os casos, o mesmo nível de prioridade P8. Os resultados do módulo estão resumidos na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados do método FUNVISIS para a Escola Armando Schwarck Anglade.

Índice de Ameaça (I_a)	0,56	
Índice de Vulnerabilidade	α_i	I_i
I. associado à antiguidade (I_1)	0,25	15
I. associado ao tipo estrutural (I_2)	0,35	40
I. associado às irregularidades (I_3)	0,25	30
I. associado à profundidade do depósito (I_4)	0,07	0
I. associado à topografia e drenagem (I_5)	0,04	20
I. associado ao grau de deterioração (I_6)	0,04	50
	$I_v =$	28,05
Índice de Importância (I_i)	0,90	
Índice de Risco (I_r)	15,71	
Classificação do Risco	Medio Alto	
Índice de Priorização (I_p)	14,14	

Dessa forma, estabelece-se a prioridade para a realização de um estudo estrutural e sísmico mais aprofundado no Módulo 4 da E.P.B. Armando Schwarck Anglade, de acordo com a metodologia proposta, sendo definida, neste caso, como prioridade P8, considerando que a prioridade máxima é P1 e a menor é P12.

5 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi avaliar a vulnerabilidade sísmica qualitativa e estabelecer a priorização das intervenções em duas edificações escolares de concreto armado localizadas no município de Silva, estado de Falcón. Para isso, foi realizada uma inspeção preliminar detalhada, que combinou o levantamento da sintomatologia das falhas, a caracterização do ambiente de exposição e a aplicação do método do Índice de Priorização FUNVISIS (López et al., 2014). A seguir, são apresentadas as principais conclusões.

As falhas predominantes em ambas as edificações foram, principalmente: trincas, fissuras, manchas de umidade e desprendimentos, com padrões associados a processos de corrosão por cloretos característicos de ambientes marinhos.

Na Escola José Ramón Yépez, a deterioração é especialmente severa: a proximidade com o mar, a ausência de sistemas de captação e condução de águas pluviais e a manutenção deficiente, agravadas pelas modificações construtivas realizadas em 2007 e pelos efeitos do sismo de 2009, resultaram em um estado avançado de degradação, que inclui a exposição das armaduras em elementos estruturais. Na Escola Armando Schwarck Anglade, as falhas apresentam menor gravidade no que se refere aos elementos estruturais, embora sua ocorrência em uma edificação construída em 2006 evidencie que as condições ambientais agressivas afetam inclusive construções recentes.

Ambas as instituições estão localizadas em um ambiente marinho corrosivo, classificado como M4, segundo a norma NTF 4015:2012. Nenhuma delas foi construída de acordo com as especificações de durabilidade estabelecidas por essa norma para ambientes agressivos, o que tem influenciado negativamente seu estado de conservação. No caso da Escola Armando Schwarck Anglade, a distância em relação à costa (entre 1 e 1,5 km) excede a faixa contemplada pela norma, o que evidencia a necessidade de incorporar uma subclasse de exposição que abranja estruturas localizadas até 2.000 m da linha de costa.

A originalidade do estudo reside na integração do grau de deterioração por corrosão, documentado durante a inspeção preliminar detalhada, como variável de entrada no subíndice I_6 do método FUNVISIS. Essa vinculação entre o estado físico real das edificações e a priorização sísmica permite refletir, de forma qualitativa, o efeito da deterioração sobre a vulnerabilidade estrutural. Embora o peso relativo de I_6 no índice global seja de 0,04, sua incidência torna-se determinante quando a deterioração atinge valores máximos, como ocorre nos módulos mais deteriorados da Escola José Ramón Yépez.

Aplicando o método FUNVISIS, os Módulos 2 e 3 da Escola José Ramón Yépez apresentam a maior vulnerabilidade e risco (prioridade P5, vulnerabilidade elevada e risco alto). Esse resultado é explicado principalmente pela combinação de dois fatores: a antiguidade da edificação (construída em 1954, $I_1 = 80$) e o grau de deterioração severa observado ($I_6 = 90$, com exposição das armaduras em elementos estruturais). Essa combinação faz com que o Índice de Vulnerabilidade (I_V) ultrapasse o limite da categoria Elevada ($I_V > 40$), o que, ponderado pela ameaça sísmica da zona 4 ($I_A = 0,56$) e pela importância educacional ($I_I = 0,90$), situa o módulo em uma alta prioridade de intervenção.

Em contraste, a Escola Armando Schwarck Anglade, construída em 2006 sob a vigência de norma sismorresistente ($I_1 = 15$), apresenta prioridade P8 (vulnerabilidade média baixa) em todos os seus módulos, mesmo com deterioração moderada ($I_6 = 50$), o que evidencia a influência positiva do atendimento às normas na resistência sísmica. Essas diferenças refletem o efeito combinado da antiguidade, do tipo estrutural, das irregularidades e, especialmente, do grau de deterioração observado em cada módulo.

É fundamental destacar que este estudo possui um escopo estritamente qualitativo. A inspeção preliminar detalhada, embora constitua um subsídio valioso para orientar a tomada de decisões e priorizar intervenções, não substitui uma inspeção detalhada com ensaios laboratoriais (carbonatação, determinação do teor de cloretos, resistividade elétrica, resistência à compressão, potencial de corrosão, entre outros). Somente a partir dessa inspeção detalhada é possível emitir um parecer técnico definitivo e quantitativo sobre a condição estrutural das edificações e projetar as correspondentes intervenções de reabilitação.

Nesse sentido, recomenda-se priorizar a realização de uma inspeção detalhada nos módulos com prioridade P5, particularmente nos Módulos 2 e 3 da Escola José Ramón Yépez, seguindo as recomendações de Arrieta et al. (2013) quanto às características da mistura de concreto em ambientes agressivos do tipo M4.

Por fim, recomenda-se estabelecer diretrizes normativas para a avaliação da vulnerabilidade qualitativa de edificações de interesse nacional, considerando explicitamente que as estruturas com processos avançados de corrosão em suas armaduras apresentarão um comportamento mecânico inferior ao previsto em projeto, o que aumenta sua vulnerabilidade e seu risco sísmico real em relação aos valores obtidos por métodos que não incorporam o estado de deterioração como variável.

6. REFERÊNCIAS

- 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.