

## INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES ESCOLARES EN ÁREAS SÍSMICAS DE VENEZUELA

ANGELO MARINILLI, NORBERTO FERNÁNDEZ, OSCAR ANDRÉS LÓPEZ Y GUSTAVO CORONEL D.

Instituto de Materiales y Modelos Estructurales - IMME  
Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela  
e-mail: angelo.marinilli@ucv.ve

Recibido: abril 2014

Recibido en forma final revisado: julio 2014

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo es presentar la metodología empleada y los resultados de las inspecciones sismorresistentes realizadas en 346 edificaciones escolares en Venezuela. Para este fin se elaboró una planilla para recolectar la información estructural y no estructural de cada edificio escolar. Posteriormente se definieron un índice de riesgo como función de un índice de amenaza sísmica, un índice de vulnerabilidad, un índice de priorización como función del índice de riesgo y de un índice de ocupación. El índice de priorización propuesto servirá como soporte para la toma de decisiones técnicas y administrativas, tales como establecer prioridades para realizar evaluaciones estructurales detalladas o rehabilitaciones sismorresistentes en edificaciones escolares de Venezuela.

*Palabras clave:* inspecciones sismorresistentes, edificaciones escolares, riesgo sísmico, priorización, Venezuela

### INSPECTION OF SCHOOL BUILDINGS IN SEISMIC PRONE AREAS OF VENEZUELA

#### ABSTRACT

The goal of this paper is to present the methodology and the results of seismic inspections performed in 346 school buildings in Venezuela. First of all a data collection form was designed to gather structural and non-structural information for each school building. Then a risk index was defined as a function of a hazard index, a vulnerability index, a prioritization index was defined as a function of the risk index and an occupation index. The prioritization index proposed will support technical and administrative decisions, such as establishing priorities to perform detailed structural evaluations or seismic rehabilitation of school buildings in Venezuela.

*Keywords:* seismic inspections, school buildings, risk, prioritization, Venezuela

#### INTRODUCCIÓN

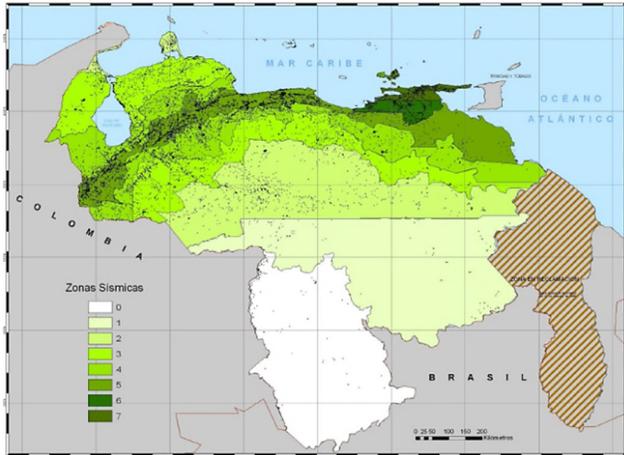
Existen aproximadamente 29.000 escuelas distribuidas en todo el territorio de Venezuela, tal como se muestra en la figura 1. Adicionalmente, la citada figura permite observar que muchas de estas escuelas están ubicadas en las zonas de mayor amenaza sísmica en el país, de acuerdo con la zonificación de la Norma Venezolana Covenin 1756 para edificaciones sismorresistentes (NVC 1756, 2001). Varios centenares de esas escuelas funcionan en edificaciones de tipologías antiguas que han mostrado comportamientos inadecuados durante terremotos pasados. Sin embargo, no existe información disponible sobre las características estructurales y sismorresistentes de la mayor parte de las edificaciones escolares en el país. Debido a esto es muy

importante recolectar y procesar esa información, con la finalidad de estimar la vulnerabilidad y poder tomar las medidas administrativas y técnicas necesarias para mitigar el riesgo sísmico en las edificaciones escolares en Venezuela.

Los objetivos de este trabajo son presentar la metodología empleada para realizar las inspecciones sismorresistentes de edificaciones escolares en Venezuela, evaluar los índices de riesgo y priorización de las escuelas inspeccionadas y presentar los resultados obtenidos.

Esta investigación fue realizada en el marco del proyecto titulado “Reducción del riesgo sísmico en edificaciones escolares en Venezuela”, el cual se desarrolló con la

participación del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), la Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas (FEDE) y la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) con el financiamiento del Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) a través del Proyecto No. 2005000188.



**Figura 1.** Distribución de escuelas de acuerdo con la zonificación sísmica de Venezuela (Coronel y López, 2012)

## METODOLOGÍA

La metodología empleada para recopilar la información estructural básica, para realizar las inspecciones sismorresistentes y para evaluar los índices de riesgo y priorización en edificaciones escolares en Venezuela se explica a continuación.



## Información básica

La primera etapa para la recopilación de la información básica consistió en identificar las edificaciones más antiguas, las más vulnerables y las más repetitivas con la ayuda de las oficinas locales de FEDE ubicadas en los 24 estados del país. Esto permitió identificar 104 edificaciones tipo “Antiguo I”, 334 edificaciones tipo “Cajetón” y 114 edificaciones tipo “Antiguo II”. Todas estas tipologías corresponden a estructuras de pórticos de concreto reforzado rellenos con paredes de mampostería no reforzada. Las edificaciones tipo Antiguo I son similares a la escuela Valentín Valiente que colapsó durante el terremoto de Cariaco (ocurrido el 09/07/1997 con magnitud  $M_w = 6,9$ ) tal como se puede observar en la figura 2. Las edificaciones tipo Cajetón son similares al liceo Raimundo Martínez Centeno, que también resultó derrumbado durante el terremoto de Cariaco como se muestra en la figura 2. Las edificaciones tipo Antiguo II corresponden a una tipología utilizada para la construcción masiva de escuelas en las décadas de 1950 y 1960 que poseen una elevada vulnerabilidad (Lee *et al.*, 2007).

La segunda etapa consistió en incluir algunas preguntas adicionales en la encuesta nacional desarrollada por el Ministerio del Poder Popular para la Educación, entre los años 2006 y 2008, en la mayor parte de las escuelas del país. Las preguntas adicionales tuvieron como intención recopilar información estructural básica como tipología estructural, número de pisos y año de construcción de las escuelas encuestadas. Finalmente, la tercera etapa consistió en la realización de inspecciones sismorresistentes tal como se explica a continuación.



**Figura 2.** Edificaciones escolares derrumbadas durante el terremoto de Cariaco ocurrido el 09/07/1997 y de magnitud  $M_w = 6,9$ : Escuela Valentín Valiente (izquierda) y Liceo Raimundo Martínez Centeno (derecha)

### Inspecciones sismorresistentes

Se realizó un total de 346 inspecciones sismorresistentes con la finalidad de recopilar información más detallada para una muestra representativa de edificaciones escolares en Venezuela. Del total de las inspecciones, 311 fueron realizadas por el Centro de Estudios Integrales del Ambiente de la Universidad Central de Venezuela (CENAMB, 2011), 16 fueron realizadas por Hernández y Contreras (2008) y las 19 restantes por Grippi y Rodríguez (2008). Todas las inspecciones fueron realizadas en el marco de este proyecto de investigación. Las edificaciones inspeccionadas fueron seleccionadas de acuerdo con los siguientes criterios: edificaciones con tipologías estructurales similares a las que colapsaron durante el terremoto de Cariaco, edificaciones más antiguas y edificaciones ubicadas en las zonas de mayor amenaza sísmica del país. La figura 3 muestra cómo se distribuyen las edificaciones inspeccionadas de acuerdo con la zonificación sísmica de Venezuela: el 80% se encuentra en zonas de amenaza sísmica elevada (zonas 5, 6 y 7) y el 20% restante se encuentra en zonas de amenaza sísmica moderada (zonas 3 y 4).

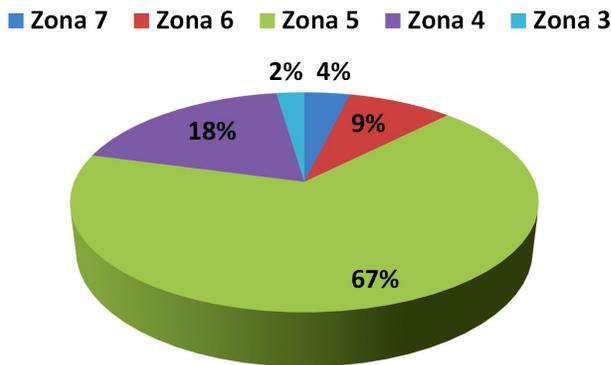


Figura 3. Distribución de las edificaciones escolares inspeccionadas de acuerdo con la zonificación sísmica de Venezuela

### Planilla de recolección de información

Con la finalidad de levantar y organizar la información estructural y no estructural de las edificaciones escolares inspeccionadas se elaboró una planilla de recolección de información. Para su elaboración se consideraron varias experiencias similares, entre las cuales se pueden mencionar la planilla propuesta en el documento FEMA 154 (2002) para realizar inspecciones visuales rápidas de edificios, con el fin de evaluar el potencial de riesgo sísmico en los EE.UU., y la planilla usada por Meneses y Aguilar (2004) para realizar inspecciones rápidas en edificaciones escolares con el fin de evaluar su vulnerabilidad sísmica en el Perú.

Adicionalmente, la planilla de recolección de información se elaboró de acuerdo con los requisitos establecidos en las normas vigentes en Venezuela; a saber: la Norma Venezolana Covenin “Edificaciones Sismorresistentes” (NVC 1756, 2001), la Norma Venezolana Covenin “Estructuras de acero para edificaciones. Método de los estados límites” (NVC 1618, 1988) y la Norma Venezolana Fondonorma “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural” (NVF 1753, 2006).

En la figura 4 se muestra la planilla de recolección de información elaborada para este proyecto. Dicha información se puede clasificar de la siguiente manera: (a) información básica que incluye identificación y dirección detalladas de la edificación, coordenadas geográficas de ubicación, datos del personal escolar que fue entrevistado, año de diseño y/o construcción y datos del inspector; (b) croquis que incluye plano de ubicación y esquema de disposición de elementos estructurales en planta y elevación y (c) información estructural y no estructural que incluye configuración de la estructura, características de los miembros estructurales y de los componentes no estructurales, presencia de problemas geotécnicos y estado de mantenimiento estructural de la edificación. Junto con la planilla de recolección los inspectores deben elaborar un reporte fotográfico detallado, junto con todos aquellos comentarios que consideren necesarios para describir con mayor claridad la información recopilada. La planilla y toda la información sobre ella pueden ser consultadas en la referencia IMME, FUNVISIS, FEDE (2011).

PROYECTO UCV - FUNVISIS - FEDE - FONACIT N° 2006000188		Escala: 1/6	
INSPECCIÓN OCULAR			
3. NOMBRE DEL PLANTEL O PLANTELLES: IMME - FACULTAD DE INGENIERÍA - UCV (EDIF. 5012)			
4. CODIGO DE: 1. AEROPUERTO 2. BARRIO 3. ESTACION 4. CALLE 5. CARRILLO 6. CENOSA 7. CENOSA 8. CENOSA 9. CENOSA 10. CENOSA 11. CENOSA 12. CENOSA 13. CENOSA 14. CENOSA 15. CENOSA 16. CENOSA 17. CENOSA 18. CENOSA 19. CENOSA 20. CENOSA 21. CENOSA 22. CENOSA 23. CENOSA 24. CENOSA 25. CENOSA 26. CENOSA 27. CENOSA 28. CENOSA 29. CENOSA 30. CENOSA 31. CENOSA 32. CENOSA 33. CENOSA 34. CENOSA 35. CENOSA 36. CENOSA 37. CENOSA 38. CENOSA 39. CENOSA 40. CENOSA 41. CENOSA 42. CENOSA 43. CENOSA 44. CENOSA 45. CENOSA 46. CENOSA 47. CENOSA 48. CENOSA 49. CENOSA 50. CENOSA 51. CENOSA 52. CENOSA 53. CENOSA 54. CENOSA 55. CENOSA 56. CENOSA 57. CENOSA 58. CENOSA 59. CENOSA 60. CENOSA 61. CENOSA 62. CENOSA 63. CENOSA 64. CENOSA 65. CENOSA 66. CENOSA 67. CENOSA 68. CENOSA 69. CENOSA 70. CENOSA 71. CENOSA 72. CENOSA 73. CENOSA 74. CENOSA 75. CENOSA 76. CENOSA 77. CENOSA 78. CENOSA 79. CENOSA 80. CENOSA 81. CENOSA 82. CENOSA 83. CENOSA 84. CENOSA 85. CENOSA 86. CENOSA 87. CENOSA 88. CENOSA 89. CENOSA 90. CENOSA 91. CENOSA 92. CENOSA 93. CENOSA 94. CENOSA 95. CENOSA 96. CENOSA 97. CENOSA 98. CENOSA 99. CENOSA 100. CENOSA 101. CENOSA 102. CENOSA 103. CENOSA 104. CENOSA 105. CENOSA 106. CENOSA 107. CENOSA 108. CENOSA 109. CENOSA 110. CENOSA 111. CENOSA 112. CENOSA 113. CENOSA 114. CENOSA 115. CENOSA 116. CENOSA 117. CENOSA 118. CENOSA 119. CENOSA 120. CENOSA 121. CENOSA 122. CENOSA 123. CENOSA 124. CENOSA 125. CENOSA 126. CENOSA 127. CENOSA 128. CENOSA 129. CENOSA 130. CENOSA 131. CENOSA 132. CENOSA 133. CENOSA 134. CENOSA 135. CENOSA 136. CENOSA 137. CENOSA 138. CENOSA 139. CENOSA 140. CENOSA 141. CENOSA 142. CENOSA 143. CENOSA 144. CENOSA 145. CENOSA 146. CENOSA 147. CENOSA 148. CENOSA 149. CENOSA 150. CENOSA 151. CENOSA 152. CENOSA 153. CENOSA 154. CENOSA 155. CENOSA 156. CENOSA 157. CENOSA 158. CENOSA 159. CENOSA 160. CENOSA 161. CENOSA 162. CENOSA 163. CENOSA 164. CENOSA 165. CENOSA 166. CENOSA 167. CENOSA 168. CENOSA 169. CENOSA 170. CENOSA 171. CENOSA 172. CENOSA 173. CENOSA 174. CENOSA 175. CENOSA 176. CENOSA 177. CENOSA 178. CENOSA 179. CENOSA 180. CENOSA 181. CENOSA 182. CENOSA 183. CENOSA 184. CENOSA 185. CENOSA 186. CENOSA 187. CENOSA 188. CENOSA 189. CENOSA 190. CENOSA 191. CENOSA 192. CENOSA 193. CENOSA 194. CENOSA 195. CENOSA 196. CENOSA 197. CENOSA 198. CENOSA 199. CENOSA 200. CENOSA 201. CENOSA 202. CENOSA 203. CENOSA 204. CENOSA 205. CENOSA 206. CENOSA 207. CENOSA 208. CENOSA 209. CENOSA 210. CENOSA 211. CENOSA 212. CENOSA 213. CENOSA 214. CENOSA 215. CENOSA 216. CENOSA 217. CENOSA 218. CENOSA 219. CENOSA 220. CENOSA 221. CENOSA 222. CENOSA 223. CENOSA 224. CENOSA 225. CENOSA 226. CENOSA 227. CENOSA 228. CENOSA 229. CENOSA 230. CENOSA 231. CENOSA 232. CENOSA 233. CENOSA 234. CENOSA 235. CENOSA 236. CENOSA 237. CENOSA 238. CENOSA 239. CENOSA 240. CENOSA 241. CENOSA 242. CENOSA 243. CENOSA 244. CENOSA 245. CENOSA 246. CENOSA 247. CENOSA 248. CENOSA 249. CENOSA 250. CENOSA 251. CENOSA 252. CENOSA 253. CENOSA 254. CENOSA 255. CENOSA 256. CENOSA 257. CENOSA 258. CENOSA 259. CENOSA 260. CENOSA 261. CENOSA 262. CENOSA 263. CENOSA 264. CENOSA 265. CENOSA 266. CENOSA 267. CENOSA 268. CENOSA 269. CENOSA 270. CENOSA 271. CENOSA 272. CENOSA 273. CENOSA 274. CENOSA 275. CENOSA 276. CENOSA 277. CENOSA 278. CENOSA 279. CENOSA 280. CENOSA 281. CENOSA 282. CENOSA 283. CENOSA 284. CENOSA 285. CENOSA 286. CENOSA 287. CENOSA 288. CENOSA 289. CENOSA 290. CENOSA 291. CENOSA 292. CENOSA 293. CENOSA 294. CENOSA 295. CENOSA 296. CENOSA 297. CENOSA 298. CENOSA 299. CENOSA 300. CENOSA 301. CENOSA 302. CENOSA 303. CENOSA 304. CENOSA 305. CENOSA 306. CENOSA 307. CENOSA 308. CENOSA 309. CENOSA 310. CENOSA 311. CENOSA 312. CENOSA 313. CENOSA 314. CENOSA 315. CENOSA 316. CENOSA 317. CENOSA 318. CENOSA 319. CENOSA 320. CENOSA 321. CENOSA 322. CENOSA 323. CENOSA 324. CENOSA 325. CENOSA 326. CENOSA 327. CENOSA 328. CENOSA 329. CENOSA 330. CENOSA 331. CENOSA 332. CENOSA 333. CENOSA 334. CENOSA 335. CENOSA 336. CENOSA 337. CENOSA 338. CENOSA 339. CENOSA 340. CENOSA 341. CENOSA 342. CENOSA 343. CENOSA 344. CENOSA 345. CENOSA 346. CENOSA 347. CENOSA 348. CENOSA 349. CENOSA 350. CENOSA 351. CENOSA 352. CENOSA 353. CENOSA 354. CENOSA 355. CENOSA 356. CENOSA 357. CENOSA 358. CENOSA 359. CENOSA 360. CENOSA 361. CENOSA 362. CENOSA 363. CENOSA 364. CENOSA 365. CENOSA 366. CENOSA 367. CENOSA 368. CENOSA 369. CENOSA 370. CENOSA 371. CENOSA 372. CENOSA 373. CENOSA 374. CENOSA 375. CENOSA 376. CENOSA 377. CENOSA 378. CENOSA 379. CENOSA 380. CENOSA 381. CENOSA 382. CENOSA 383. CENOSA 384. CENOSA 385. CENOSA 386. CENOSA 387. CENOSA 388. CENOSA 389. CENOSA 390. CENOSA 391. CENOSA 392. CENOSA 393. CENOSA 394. CENOSA 395. CENOSA 396. CENOSA 397. CENOSA 398. CENOSA 399. CENOSA 400. CENOSA 401. CENOSA 402. CENOSA 403. CENOSA 404. CENOSA 405. CENOSA 406. CENOSA 407. CENOSA 408. CENOSA 409. CENOSA 410. CENOSA 411. CENOSA 412. CENOSA 413. CENOSA 414. CENOSA 415. CENOSA 416. CENOSA 417. CENOSA 418. CENOSA 419. CENOSA 420. CENOSA 421. CENOSA 422. CENOSA 423. CENOSA 424. CENOSA 425. CENOSA 426. CENOSA 427. CENOSA 428. CENOSA 429. CENOSA 430. CENOSA 431. CENOSA 432. CENOSA 433. CENOSA 434. CENOSA 435. CENOSA 436. CENOSA 437. CENOSA 438. CENOSA 439. CENOSA 440. CENOSA 441. CENOSA 442. CENOSA 443. CENOSA 444. CENOSA 445. CENOSA 446. CENOSA 447. CENOSA 448. CENOSA 449. CENOSA 450. CENOSA 451. CENOSA 452. CENOSA 453. CENOSA 454. CENOSA 455. CENOSA 456. CENOSA 457. CENOSA 458. CENOSA 459. CENOSA 460. CENOSA 461. CENOSA 462. CENOSA 463. CENOSA 464. CENOSA 465. CENOSA 466. CENOSA 467. CENOSA 468. CENOSA 469. CENOSA 470. CENOSA 471. CENOSA 472. CENOSA 473. CENOSA 474. CENOSA 475. CENOSA 476. CENOSA 477. CENOSA 478. CENOSA 479. CENOSA 480. CENOSA 481. CENOSA 482. CENOSA 483. CENOSA 484. CENOSA 485. CENOSA 486. CENOSA 487. CENOSA 488. CENOSA 489. CENOSA 490. CENOSA 491. CENOSA 492. CENOSA 493. CENOSA 494. CENOSA 495. CENOSA 496. CENOSA 497. CENOSA 498. CENOSA 499. CENOSA 500. CENOSA 501. CENOSA 502. CENOSA 503. CENOSA 504. CENOSA 505. CENOSA 506. CENOSA 507. CENOSA 508. CENOSA 509. CENOSA 510. CENOSA 511. CENOSA 512. CENOSA 513. CENOSA 514. CENOSA 515. CENOSA 516. CENOSA 517. CENOSA 518. CENOSA 519. CENOSA 520. CENOSA 521. CENOSA 522. CENOSA 523. CENOSA 524. CENOSA 525. CENOSA 526. CENOSA 527. CENOSA 528. CENOSA 529. CENOSA 530. CENOSA 531. CENOSA 532. CENOSA 533. CENOSA 534. CENOSA 535. CENOSA 536. CENOSA 537. CENOSA 538. CENOSA 539. CENOSA 540. CENOSA 541. CENOSA 542. CENOSA 543. CENOSA 544. CENOSA 545. CENOSA 546. CENOSA 547. CENOSA 548. CENOSA 549. CENOSA 550. CENOSA 551. CENOSA 552. CENOSA 553. CENOSA 554. CENOSA 555. CENOSA 556. CENOSA 557. CENOSA 558. CENOSA 559. CENOSA 560. CENOSA 561. CENOSA 562. CENOSA 563. CENOSA 564. CENOSA 565. CENOSA 566. CENOSA 567. CENOSA 568. CENOSA 569. CENOSA 570. CENOSA 571. CENOSA 572. CENOSA 573. CENOSA 574. CENOSA 575. CENOSA 576. CENOSA 577. CENOSA 578. CENOSA 579. CENOSA 580. CENOSA 581. CENOSA 582. CENOSA 583. CENOSA 584. CENOSA 585. CENOSA 586. CENOSA 587. CENOSA 588. CENOSA 589. CENOSA 590. CENOSA 591. CENOSA 592. CENOSA 593. CENOSA 594. CENOSA 595. CENOSA 596. CENOSA 597. CENOSA 598. CENOSA 599. CENOSA 600. CENOSA 601. CENOSA 602. CENOSA 603. CENOSA 604. CENOSA 605. CENOSA 606. CENOSA 607. CENOSA 608. CENOSA 609. CENOSA 610. CENOSA 611. CENOSA 612. CENOSA 613. CENOSA 614. CENOSA 615. CENOSA 616. CENOSA 617. CENOSA 618. CENOSA 619. CENOSA 620. CENOSA 621. CENOSA 622. CENOSA 623. CENOSA 624. CENOSA 625. CENOSA 626. CENOSA 627. CENOSA 628. CENOSA 629. CENOSA 630. CENOSA 631. CENOSA 632. CENOSA 633. CENOSA 634. CENOSA 635. CENOSA 636. CENOSA 637. CENOSA 638. CENOSA 639. CENOSA 640. CENOSA 641. CENOSA 642. CENOSA 643. CENOSA 644. CENOSA 645. CENOSA 646. CENOSA 647. CENOSA 648. CENOSA 649. CENOSA 650. CENOSA 651. CENOSA 652. CENOSA 653. CENOSA 654. CENOSA 655. CENOSA 656. CENOSA 657. CENOSA 658. CENOSA 659. CENOSA 660. CENOSA 661. CENOSA 662. CENOSA 663. CENOSA 664. CENOSA 665. CENOSA 666. CENOSA 667. CENOSA 668. CENOSA 669. CENOSA 670. CENOSA 671. CENOSA 672. CENOSA 673. CENOSA 674. CENOSA 675. CENOSA 676. CENOSA 677. CENOSA 678. CENOSA 679. CENOSA 680. CENOSA 681. CENOSA 682. CENOSA 683. CENOSA 684. CENOSA 685. CENOSA 686. CENOSA 687. CENOSA 688. CENOSA 689. CENOSA 690. CENOSA 691. CENOSA 692. CENOSA 693. CENOSA 694. CENOSA 695. CENOSA 696. CENOSA 697. CENOSA 698. CENOSA 699. CENOSA 700. CENOSA 701. CENOSA 702. CENOSA 703. CENOSA 704. CENOSA 705. CENOSA 706. CENOSA 707. CENOSA 708. CENOSA 709. CENOSA 710. CENOSA 711. CENOSA 712. CENOSA 713. CENOSA 714. CENOSA 715. CENOSA 716. CENOSA 717. CENOSA 718. CENOSA 719. CENOSA 720. CENOSA 721. CENOSA 722. CENOSA 723. CENOSA 724. CENOSA 725. CENOSA 726. CENOSA 727. CENOSA 728. CENOSA 729. CENOSA 730. CENOSA 731. CENOSA 732. CENOSA 733. CENOSA 734. CENOSA 735. CENOSA 736. CENOSA 737. CENOSA 738. CENOSA 739. CENOSA 740. CENOSA 741. CENOSA 742. CENOSA 743. CENOSA 744. CENOSA 745. CENOSA 746. CENOSA 747. CENOSA 748. CENOSA 749. CENOSA 750. CENOSA 751. CENOSA 752. CENOSA 753. CENOSA 754. CENOSA 755. CENOSA 756. CENOSA 757. CENOSA 758. CENOSA 759. CENOSA 760. CENOSA 761. CENOSA 762. CENOSA 763. CENOSA 764. CENOSA 765. CENOSA 766. CENOSA 767. CENOSA 768. CENOSA 769. CENOSA 770. CENOSA 771. CENOSA 772. CENOSA 773. CENOSA 774. CENOSA 775. CENOSA 776. CENOSA 777. CENOSA 778. CENOSA 779. CENOSA 780. CENOSA 781. CENOSA 782. CENOSA 783. CENOSA 784. CENOSA 785. CENOSA 786. CENOSA 787. CENOSA 788. CENOSA 789. CENOSA 790. CENOSA 791. CENOSA 792. CENOSA 793. CENOSA 794. CENOSA 795. CENOSA 796. CENOSA 797. CENOSA 798. CENOSA 799. CENOSA 800. CENOSA 801. CENOSA 802. CENOSA 803. CENOSA 804. CENOSA 805. CENOSA 806. CENOSA 807. CENOSA 808. CENOSA 809. CENOSA 810. CENOSA 811. CENOSA 812. CENOSA 813. CENOSA 814. CENOSA 815. CENOSA 816. CENOSA 817. CENOSA 818. CENOSA 819. CENOSA 820. CENOSA 821. CENOSA 822. CENOSA 823. CENOSA 824. CENOSA 825. CENOSA 826. CENOSA 827. CENOSA 828. CENOSA 829. CENOSA 830. CENOSA 831. CENOSA 832. CENOSA 833. CENOSA 834. CENOSA 835. CENOSA 836. CENOSA 837. CENOSA 838. CENOSA 839. CENOSA 840. CENOSA 841. CENOSA 842. CENOSA 843. CENOSA 844. CENOSA 845. CENOSA 846. CENOSA 847. CENOSA 848. CENOSA 849. CENOSA 850. CENOSA 851. CENOSA 852. CENOSA 853. CENOSA 854. CENOSA 855. CENOSA 856. CENOSA 857. CENOSA 858. CENOSA 859. CENOSA 860. CENOSA 861. CENOSA 862. CENOSA 863. CENOSA 864. CENOSA 865. CENOSA 866. CENOSA 867. CENOSA 868. CENOSA 869. CENOSA 870. CENOSA 871. CENOSA 872. CENOSA 873. CENOSA 874. CENOSA 875. CENOSA 876. CENOSA 877. CENOSA 878. CENOSA 879. CENOSA 880. CENOSA 881. CENOSA 882. CENOSA 883. CENOSA 884. CENOSA 885. CENOSA 886. CENOSA 887. CENOSA 888. CENOSA 889. CENOSA 890. CENOSA 891. CENOSA 892. CENOSA 893. CENOSA 894. CENOSA 895. CENOSA 896. CENOSA 897. CENOSA 898. CENOSA 899. CENOSA 900. CENOSA 901. CENOSA 902. CENOSA 903. CENOSA 904. CENOSA 905. CENOSA 906. CENOSA 907. CENOSA 908. CENOSA 909. CENOSA 910. CENOSA 911. CENOSA 912. CENOSA 913. CENOSA 914. CENOSA 915. CENOSA 916. CENOSA 917. CENOSA 918. CENOSA 919. CENOSA 920. CENOSA 921. CENOSA 922. CENOSA 923. CENOSA 924. CENOSA 925. CENOSA 926. CENOSA 927. CENOSA 928. CENOSA 929. CENOSA 930. CENOSA 931. CENOSA 932. CENOSA 933. CENOSA 934. CENOSA 935. CENOSA 936. CENOSA 937. CENOSA 938. CENOSA 939. CENOSA 940. CENOSA 941. CENOSA 942. CENOSA 943. CENOSA 944. CENOSA 945. CENOSA 946. CENOSA 947. CENOSA 948. CENOSA 949. CENOSA 950. CENOSA 951. CENOSA 952. CENOSA 953. CENOSA 954. CENOSA 955. CENOSA 956. CENOSA 957. CENOSA 958. CENOSA 959. CENOSA 960. CENOSA 961. CENOSA 962. CENOSA 963. CENOSA 964. CENOSA 965. CENOSA 966. CENOSA 967. CENOSA 968. CENOSA 969. CENOSA 970. CENOSA 971. CENOSA 972. CENOSA 973. CENOSA 974. CENOSA 975. CENOSA 976. CENOSA 977. CENOSA 978. CENOSA 979. CENOSA 980. CENOSA 981. CENOSA 982. CENOSA 983. CENOSA 984. CENOSA 985. CENOSA 986. CENOSA 987. CENOSA 988. CENOSA 989. CENOSA 990. CENOSA 991. CENOSA 992. CENOSA 993. CENOSA 994. CENOSA 995. CENOSA 996. CENOSA 997. CENOSA 998. CENOSA 999. CENOSA 1000.			

Información básica

Croquis de ubicación y esquemas estructurales

Información estructural y no estructural

Figura 4. Planilla de recolección de información

## Inspectores y entrenamiento

Los inspectores seleccionados para realizar las inspecciones sísmicas fueron estudiantes de ingeniería civil, estudiantes de arquitectura y bomberos. El objetivo de esta selección fue garantizar grupos de inspectores con formación básica en ingeniería estructural y sismorresistente. Para complementar dicha formación, se dictaron sendos talleres de instrucción para cada grupo de inspectores. Estos talleres incluyeron una revisión de los conceptos básicos de ingeniería estructural y sismorresistente, prestando especial atención a los detalles estructurales y no estructurales que pueden condicionar el desempeño sísmico de una estructura, dos sesiones de entrenamiento en campo realizados en edificaciones escolares y, posteriormente, una discusión de las experiencias y los resultados obtenidos en dichas sesiones.

Finalmente, para facilitar el uso de la planilla de recolección de información, se elaboró un instructivo detallado que sirviese como guía durante el dictado del taller de formación y la ejecución de las inspecciones.

## Índices de riesgo y priorización

Con base en la información recopilada, para cada edificación escolar se calculó su índice de riesgo ( $I_r$ ) y su índice de priorización ( $I_p$ ) definidos por las ecuaciones (1) y (2), respectivamente. Es importante aclarar que el índice de riesgo definido en la ecuación (1) no pretende cuantificar el verdadero riesgo sísmico de una edificación escolar, sino determinar valores que permitan comparar edificios escolares entre sí con base en la información recopilada. Por otra parte, el índice de priorización se definió como soporte para la toma de decisiones técnicas y administrativas, tales como: establecer prioridades para realizar evaluaciones estructurales detalladas o realizar rehabilitaciones sismorresistentes de las edificaciones escolares.

$$I_r = I_z \cdot I_v \quad (1)$$

$$I_p = I_z \cdot I_v \cdot I_o = I_r \cdot I_o \quad (2)$$

A continuación se describen los índices expresados en las ecuaciones (1) y (2). El índice de amenaza sísmica ( $I_z$ ) depende de la zona sísmica donde se ubica la edificación inspeccionada de acuerdo con la NVC 1756 (2001). El índice propuesto varía linealmente, tomando el valor 0,25 para la zona sísmica 1 (aceleración máxima del terreno  $PGA=0,1g$  para un período de retorno  $T=475$  años) y el valor 1,00 para la zona sísmica 7 ( $PGA=0,4g$  para  $T=475$  años). El índice de ocupación ( $I_o$ ) depende de la

capacidad de la edificación escolar, variando entre 0,5 para capacidades hasta 500 estudiantes y 1,0 para capacidades mayores a 1.000 estudiantes.

El índice de vulnerabilidad ( $I_v$ ) depende de los detalles estructurales y no estructurales. Este índice fue desarrollado tomando en consideración la práctica constructiva y las características usuales de las edificaciones escolares en Venezuela. El índice propuesto considera la tipología estructural (con un peso relativo de hasta 20% del índice de vulnerabilidad resultante), el año de proyecto y/o construcción (peso relativo de hasta 20%), la existencia de irregularidades en planta (peso relativo de hasta 18%), la existencia de irregularidades verticales tales como discontinuidad del sistema resistente a sismos o la presencia de "columnas cortas" (peso relativo de hasta 18%), la existencia de patologías estructurales y/o la ausencia de un mantenimiento estructural adecuado (peso relativo de hasta 18%) y la existencia de problemas geotécnicos (peso relativo de hasta 6%).

Para definir el índice de vulnerabilidad se le dio especial importancia a la presencia de columnas cortas y a la ausencia de líneas resistentes en las dos direcciones principales de la planta, debido a que estas características contribuyeron a que algunas edificaciones escolares tuvieran comportamientos sismorresistentes inadecuados durante terremotos ocurridos en Venezuela, véase por ejemplo López (2009). Con respecto a la fecha del proyecto y/o la construcción se consideraron como referencia los siguientes años: 1939, cuando se estableció la primera norma estructural en Venezuela, que utilizaba cargas sísmicas de baja intensidad y sin detallado sismorresistente para los miembros estructurales; 1967, cuando ocurrió el Terremoto de Caracas (29/07/1967 y  $M_w=6,6$ ) y 1982, cuando la norma sísmica y las normas estructurales comenzaron a conciliarse con los requisitos modernos para análisis y diseño de edificaciones sismorresistentes. Se pueden consultar detalles adicionales sobre los índices propuestos en la referencia IMME, FUNVISIS, FEDE (2011).

Las edificaciones escolares que colapsaron durante el terremoto de Cariaco se usaron como ejemplo para ilustrar cómo se determinan los índices propuestos. Dichas edificaciones estaban ubicadas en la población de Cariaco en el estado Sucre (región nororiental de Venezuela), correspondiente a la zona sísmica 7 según la NVC 1756 (2001). La escuela Valentín Valiente fue construida en la década de los 50 y estaba compuesta por dos edificios tipo Antiguo I separados por una junta estructural. Esta edificación estaba caracterizada por la ausencia de líneas

resistentes en la dirección más larga de su planta y la presencia de una gran cantidad de columnas cortas en sus dos niveles. El liceo Raimundo Martínez Centeno fue construido con la tipología denominada Cajetón en la década de los 80, aunque su proyecto es de fecha anterior. Estaba compuesto por dos edificios con planta en forma de “C” separados por una junta estructural, ambos caracterizados por la presencia de líneas resistentes en las dos direcciones principales de sus plantas y la presencia de columnas cortas en todos sus niveles. La figura 2 permite observar los modos de falla de ambas edificaciones escolares, mientras que la tabla 1 contiene los valores de todos los índices calculados para dichas edificaciones.

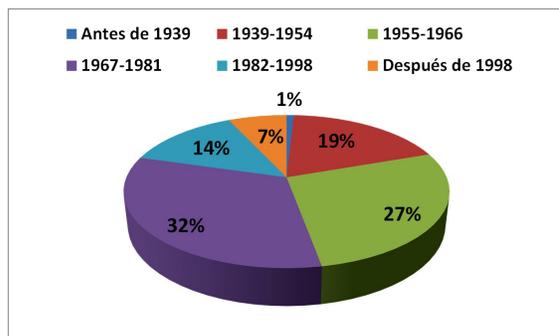
**Tabla 1.** Índices de las edificaciones escolares derrumbadas durante el Terremoto de Cariaco

Edificación Escolar	Iz	Iv	Io	Ir	Ip
Escuela Valentín Valiente	1,00	0,64	0,50	0,64	0,32
Liceo Raimundo Martínez Centeno	1,00	0,45	1,00	0,45	0,45

## RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados más resaltantes obtenidos de las inspecciones realizadas. La figura 5 muestra la distribución de las edificaciones escolares inspeccionadas de acuerdo con el año de diseño y/o construcción y la presencia de líneas resistentes a sismo. Se puede observar que el 47% de las edificaciones inspeccionadas tienen fecha de diseño o construcción anterior a 1967, el 32% entre 1967 y 1982 y el 21% con fecha posterior a 1982. Por otra parte, se observa que en tan sólo el 32% de las edificaciones escolares inspeccionadas se pudo identificar claramente la existencia de líneas resistentes en las dos direcciones principales en planta.

Las figuras 6 a 8 muestran algunos ejemplos de edificaciones escolares inspeccionadas en el estado Sucre, donde se ubica la zona de mayor amenaza sísmica en Venezuela (zona sísmica 7 con  $PGA=0,4g$  para  $T=475$  años). La edificación mostrada en la figura 6 corresponde a una edificación construida en la primera mitad del siglo XX, en la que se observó ausencia de líneas resistentes claramente definidas en las dos direcciones principales de su planta. La figura 7



**Figura 5.** Distribución de las edificaciones escolares inspeccionadas según el año de diseño y/o construcción (izquierda) y la presencia de líneas resistentes a sismo (derecha)

(izquierda) muestra una edificación tipo Antiguo I similar a la Escuela Valentín Valiente. La figura 7 (derecha) muestra una edificación tipo Cajetón en la que sólo se pudo identificar claramente líneas resistentes en la dirección más larga de la planta, aunque se sabe que existen vigas planas en la dirección más corta de acuerdo con algunos

planos estructurales disponibles. La figura 8 muestra una edificación escolar de construcción más reciente en la que se pudo identificar líneas resistentes en las dos direcciones principales de su planta, aunque se observó la presencia de columnas cortas.



**Figura 6.** Edificación escolar antigua inspeccionada en el estado Sucre



Figura 7. Edificaciones escolares tipo Antiguo I (izquierda) y Cajetón (derecha) inspeccionadas en el estado Sucre



Figura 8. Edificación escolar moderna inspeccionada en el estado Sucre

### Índices de amenaza sísmica, ocupación, vulnerabilidad, riesgo y priorización

La figura 9 (izquierda) muestra la distribución del índice de amenaza sísmica para las edificaciones escolares inspeccionadas, donde se observa que el 80% de éstas mostró índices mayores a 0,75. Esto ocurre debido a que las edificaciones inspeccionadas están ubicadas en las

zonas de mayor amenaza sísmica del país, de acuerdo con los criterios de selección discutidos anteriormente. Por otra parte, la figura 9 (derecha) muestra la distribución del índice de ocupación de las edificaciones. En este caso el 54% de las edificaciones mostró índices mayores a 0,75 debido a que corresponden a escuelas con capacidades superiores a 500 estudiantes.

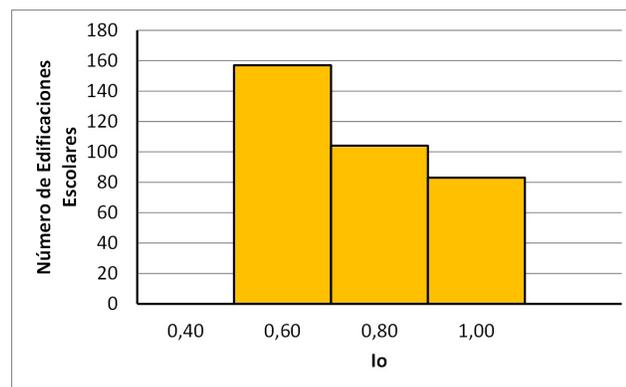
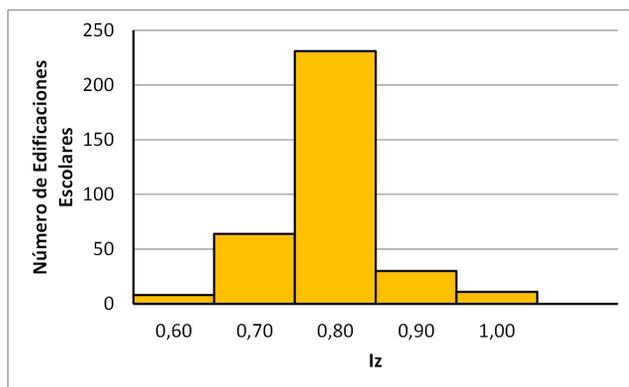
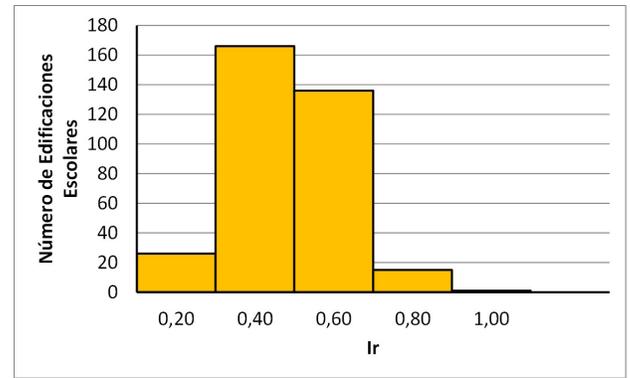
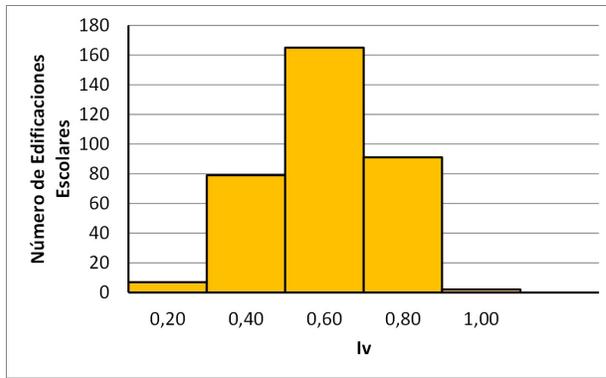


Figura 9. Distribución del índice de amenaza sísmica (izquierda) y del índice de ocupación (derecha) para las edificaciones escolares inspeccionadas

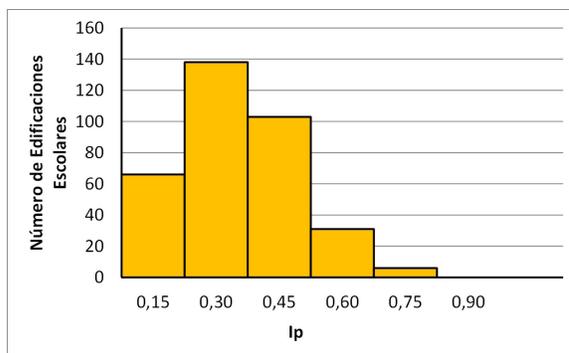
La figura 10 (izquierda) muestra la distribución obtenida del índice de vulnerabilidad. Al comparar con los resultados de los edificios colapsados durante el terremoto de Cariaco (tabla 1), se observa que cerca del 69% mostró índices mayores a 0,45 y cerca del 19% mostró índices mayores

a 0,64. Por otra parte, la figura 10 (derecha) muestra la distribución del índice de riesgo; de manera similar, cerca del 30% mostró índices mayores a 0,45 y cerca del 3% mostró índices mayores a 0,64.



**Figura 10.** Distribución del índice de vulnerabilidad (izquierda) y del índice de riesgo (derecha) para las edificaciones escolares inspeccionadas

La figura 11 muestra la distribución del índice de priorización para las edificaciones escolares inspeccionadas. Al comparar nuevamente estos resultados con los edificios derrumbados durante el terremoto de Cariaco (tabla 1), se observa que alrededor del 36% mostró valores mayores a 0,32 y el 11% mostró valores mayores a 0,45.



**Figura 11.** Distribución del índice de priorización para las edificaciones escolares inspeccionadas

### VALIDACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO PROPUESTO

La tabla 2 contiene un listado de 19 edificaciones escolares del estado Sucre, entre las cuales se incluye la Escuela Valentín Valiente y el Liceo Raimundo Martínez Centeno, inspeccionadas por profesionales de la ingeniería una vez ocurrido el terremoto de Cariaco. En dicha tabla se indican además las aceleraciones máximas estimadas del terreno ( $A_j$ ) y el estado de daño observado, tomados de la referencia Coronel y López (2013). La descripción de los estados de daño reportados por los autores se presenta en la tabla 3. Es interesante observar que, aunque todas las instituciones educativas identificadas están ubicadas en el estado Sucre, la mayoría de ellas están en la zona sísmica 7 (PGA=0,4g para T=475 años) y sólo la E. B. Diego De Vallenilla se encuentra ubicada en la zona sísmica 6 (PGA=0,35g para T=475 años) de acuerdo con la zonificación de la NVC 1756 (2001).

**Tabla 3.** Descripción de los estados de daño

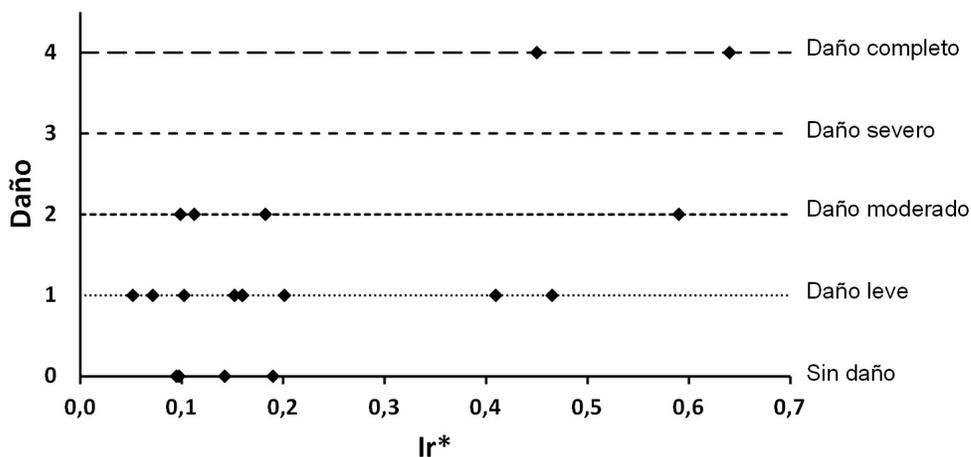
<b>Daño</b>	<b>Descripción</b>
<b>0</b>	Sin Daño
<b>1</b>	Leve
<b>2</b>	Moderado
<b>3</b>	Severo
<b>4</b>	Completo

La tabla 2 contiene también los índices de amenaza sísmica, vulnerabilidad, ocupación y priorización de las 19 edificaciones escolares, determinados de acuerdo con el procedimiento descrito previamente y modificados según se indica a continuación. Con la finalidad de validar el índice de riesgo y posteriormente desarrollar un criterio de priorización, se calculó un índice de amenaza sísmica equivalente ( $Iz^*$ ), asignando a cada edificación escolar un valor del índice de amenaza sísmica en correspondencia con la aceleración máxima estimada del terreno durante el terremoto ( $A_j$ ). De esta manera el valor del índice de amenaza equivalente es consistente con las sollicitaciones sísmicas que actuaron sobre cada estructura durante el terremoto. Con el  $Iz^*$  así determinado se calculó el índice de riesgo equivalente ( $Ir^*$ ) y el índice de priorización equivalente ( $Ip^*$ ) para cada una de las edificaciones escolares, siguiendo el mismo procedimiento descrito previamente. Detalles adicionales sobre la obtención de los índices mostrados en la tabla 2 pueden encontrarse en la referencia Delgado y Merola (2013).

En la figura 12 se grafica el índice de riesgo equivalente ( $Ir^*$ ) contra el nivel de daño registrado en las 19 edificaciones escolares. Se observa en términos generales una buena correlación, puesto que a mayores valores de  $Ir^*$  se registraron mayores daños durante el terremoto. Esto permite validar de alguna manera el índice de riesgo propuesto en este trabajo.

**Tabla 2.** Edificaciones escolares del estado Sucre inspeccionadas por profesionales de la ingeniería luego del terremoto de Cariaco

No.	Nombre de la institución	$A_i(g)$	Daño	$I_z$	$I_v$	$I_o$	$I_p$	$I_z^*$	$I_r^*$	$I_p^*$
1	U.E. José María Carrera	0,40	2	1,00	0,59	1,00	0,59	1,00	0,59	0,59
2	Escuela Río Casanay	0,30	1	1,00	0,62	0,50	0,31	0,75	0,47	0,23
3	U.E. Juan Pablo Rojas Paúl	0,11	2	1,00	0,73	0,75	0,55	0,25	0,18	0,14
4	U.E. Chacaracual	0,09	0	1,00	0,75	0,75	0,56	0,13	0,10	0,07
5	U.E. Carlos Francisco Grisanti	0,10	0	1,00	0,57	0,75	0,43	0,25	0,14	0,11
6	U.E. Miguel Sánchez Pesquera	0,13	1	1,00	0,64	0,50	0,32	0,25	0,16	0,08
7	U.E. Playa Grande	0,18	2	1,00	0,26	0,75	0,20	0,38	0,10	0,07
8	U.E. Eustoquia Soledad Luiggi	0,15	1	1,00	0,53	0,75	0,40	0,38	0,20	0,15
9	E.B. Santa Catalina	0,18	1	1,00	0,40	0,75	0,30	0,38	0,15	0,11
10	U.E. Jesús A. Marcano	0,15	1	1,00	0,42	1,00	0,42	0,38	0,16	0,16
11	E.B. Dr. Luis Napoleón Blanco	0,04	1	1,00	0,55	0,50	0,28	0,13	0,07	0,04
12	E.B. Nuestra Señora Del Rosario	0,10	1	1,00	0,41	0,50	0,21	0,25	0,10	0,05
13	U.E. Salvador Córdova	0,05	0	1,00	0,73	1,00	0,73	0,13	0,09	0,09
14	U.E. Francisco Alemán Parra	0,21	0	1,00	0,38	0,75	0,29	0,50	0,19	0,14
15	E. B. Diego De Vallenilla	0,11	2	0,88	0,45	1,00	0,40	0,25	0,11	0,11
16	U.E. Pedro Camejo	0,26	1	1,00	0,65	0,50	0,33	0,63	0,41	0,20
17	E.B. Antonio Lemus Pérez	0,09	1	1,00	0,40	1,00	0,40	0,13	0,05	0,05
18	Escuela Valentín Valiente	0,41	4	1,00	0,64	0,50	0,32	1,00	0,64	0,32
19	Liceo Raimundo Martínez Centeno	0,40	4	1,00	0,45	1,00	0,45	1,00	0,45	0,45



**Figura 12.** Gráfico de daño contra índice de riesgo para edificaciones inspeccionadas luego del terremoto de Cariaco

### CRITERIO DE PRIORIZACIÓN

El índice de priorización tiene como finalidad práctica servir como base para la toma de decisiones por parte de los entes involucrados en la mitigación del riesgo sísmico, sean éstos de carácter público o privado. Así, por ejemplo, el documento FEMA 154 (2002) indica que para lograr esta finalidad se debe definir un valor límite (*cut-off*) del índice obtenido con la metodología propuesta en dicho documento, para clasificar cada edificación inspeccionada

en alguna de las siguientes dos categorías: edificaciones que se espera tengan un desempeño sísmico aceptable o edificaciones que se consideran riesgosas y requieren una evaluación sismorresistente más detallada. Igualmente el documento indica que el valor límite debe ser establecido de mutuo acuerdo por todas las partes que participan en el proceso, preferiblemente en la etapa de planificación de las inspecciones.

### Propuesta de un criterio de priorización

El análisis de la figura 11 permitió indicar que alrededor del 36% de las edificaciones escolares inspeccionadas mostró un índice de priorización mayor a 0,32 y alrededor del 11% mayor a 0,45. Debe recordarse que estos valores corresponden a la Escuela Valentín Valiente y al Liceo Raimundo Martínez Centeno, respectivamente. Puede hacerse un análisis más detallado para el uso del índice de priorización definido en este trabajo, con base en las 19 edificaciones escolares identificadas en la tabla 2.

En la figura 13 se grafica el índice de priorización equivalente ( $I_p^*$ ) contra el nivel de daño registrado en las 19 edificaciones escolares durante el terremoto. En la figura se puede observar que, en términos generales, a mayores valores del índice de priorización las edificaciones escolares sufrieron mayor daño durante el terremoto. La única excepción corresponde a la U.E. José María Carrera que, a pesar de tener el mayor valor del índice de priorización equivalente ( $I_p^* = 0,59$ ) debido a su población escolar, mostró sólo daño moderado.

La propuesta de priorización se basa en establecer las siguientes tres categorías: prioridad alta, prioridad media y prioridad baja. La primera categoría corresponde a aquellas edificaciones escolares que deben ser reforzadas de inmediato, la segunda a aquellas que requieren evaluaciones más detalladas para establecer si deben o no ser reforzadas y, la última, a aquellas edificaciones escolares que no requieren evaluaciones adicionales por considerarse seguras. Con la finalidad de definir los rangos para cada categoría, se estableció que aquellas edificaciones escolares con índice de priorización igual o mayor al menor índice de las edificaciones derrumbadas durante el terremoto ( $I_p \geq 0,32$ ) deben ser reforzadas de inmediato. Aquellas edificaciones escolares con índice de priorización menor al mayor índice de priorización de aquellas que no sufrieron daño o sufrieron daño leve ( $I_p < 0,07$ ) no requieren evaluaciones adicionales. Las edificaciones restantes ( $0,07 \leq I_p < 0,32$ ) requieren evaluaciones más detalladas. En la tabla 4 se resume la propuesta para priorización de edificaciones escolares en Venezuela.

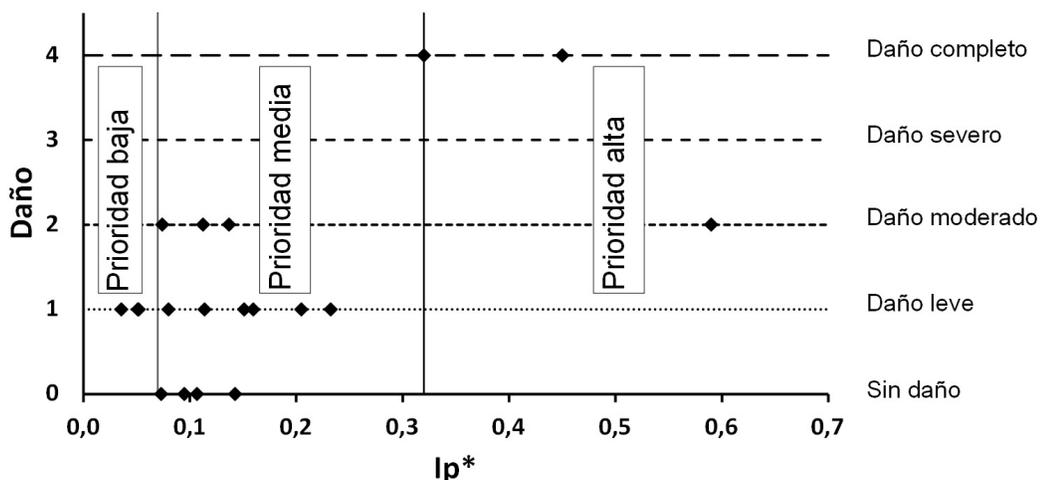


Figura 13. Gráfico de daño contra índice de priorización equivalente para edificaciones inspeccionadas luego del terremoto de Cariaco y propuesta de priorización

Tabla 4. Propuesta para priorización de edificaciones escolares en Venezuela

Categoría	Descripción	Rango
Prioridad alta	Deben ser reforzadas de inmediato	$I_p \geq 0,32$
Prioridad media	Requieren evaluaciones sismorresistentes más detalladas	$0,07 \leq I_p < 0,32$
Prioridad baja	No requieren evaluaciones adicionales	$I_p < 0,07$

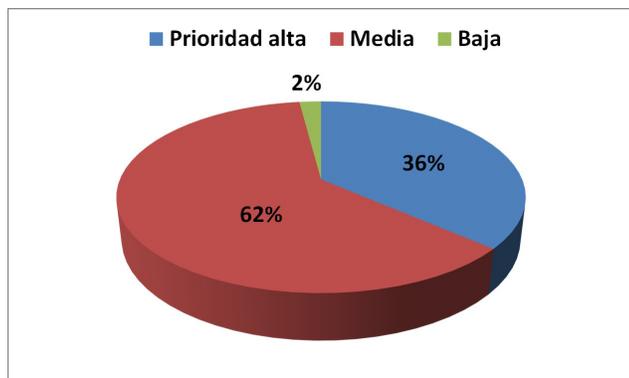
### Priorización de las edificaciones escolares inspeccionadas

La figura 14 muestra la distribución de las edificaciones escolares inspeccionadas de acuerdo con la propuesta de priorización. Se observa que el 36% de las edificaciones escolares tiene una prioridad alta y deben ser reforzadas de inmediato, el 62% tiene prioridad media y requiere evaluaciones más detalladas y sólo el 2% tiene prioridad baja. Se debe recordar que las edificaciones inspeccionadas fueron seleccionadas según criterios de similitud con

las derrumbadas durante el terremoto de Cariaco, mayor antigüedad y ubicación en las zonas de mayor amenaza sísmica; por lo que estos resultados no pueden ser extrapolados directamente al resto del país.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan las metodologías propuestas y empleadas para realizar inspecciones sismorresistentes de edificaciones escolares en Venezuela, así como para evaluar los índices de riesgo y priorización de dichas edificaciones. Se presentan también los resultados obtenidos de las inspecciones realizadas en un grupo de edificaciones escolares en el país.



**Figura 14.** Distribución de las edificaciones escolares inspeccionadas según la propuesta de priorización

Para realizar las inspecciones se diseñó una planilla para recolectar información estructural y no estructural, particularizada para edificaciones escolares de Venezuela. Se definió un índice de riesgo como función de un índice de amenaza sísmica y de un índice de vulnerabilidad. Es importante aclarar que el índice de riesgo propuesto no pretende cuantificar el verdadero riesgo sísmico de una edificación escolar, sino más bien determinar valores que permitan comparar edificios escolares entre sí, con base en la información recopilada durante las inspecciones. El índice de riesgo propuesto pudo ser validado con base en los niveles de daño registrados en un grupo de edificaciones escolares durante el terremoto de Cariaco. Se definió un índice de priorización como función del índice de riesgo y de un índice de ocupación. Este índice de priorización se formuló como soporte para la toma de decisiones en la reducción del riesgo sísmico, tales como establecer prioridades para realizar evaluaciones estructurales detalladas y rehabilitaciones sismorresistentes de las edificaciones escolares.

Se inspeccionó un total de 346 edificaciones escolares en el país, seleccionadas según criterios de similitud con

aquellas que colapsaron durante el terremoto de Cariaco de 1997, mayor antigüedad y ubicación en las zonas de mayor amenaza sísmica. Se desarrolló un criterio de priorización, de acuerdo con el cual, el 36% de las edificaciones escolares inspeccionadas tiene una prioridad alta y requiere ser reforzadas de inmediato, el 62% tiene prioridad media y requiere evaluaciones más detalladas y sólo el 2% tiene prioridad baja y estas edificaciones se consideran seguras. Es importante aclarar que estos resultados no pueden ser extrapolados al resto del país, debido a los criterios usados para seleccionar el grupo de edificaciones escolares inspeccionadas.

Finalmente, es importante observar que la metodología presentada puede ser empleada por los entes competentes en la reducción del riesgo sísmico en Venezuela para inspeccionar y priorizar todas las edificaciones escolares del país.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al FONACIT por el financiamiento otorgado a través del proyecto 2005000188. Igualmente, agradecen el apoyo dado por FEDE, FUNVISIS y el IMME para el desarrollo de esta investigación.

## REFERENCIAS

- CENAMB (2011). Auditoria de vulnerabilidad de edificaciones escolares. Universidad Central de Venezuela, Centro de Estudios Integrales del Ambiente, Caracas.
- CORONEL, G. Y LÓPEZ, O. A. (2013). Metodología para la estimación de daños por sismos en edificios escolares de Venezuela mediante curvas de fragilidad. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 28, No. 2, pp. 65-86.
- CORONEL, G. Y LOPEZ, O. A. (2012). Regional seismic risk, damage and loss scenarios of Venezuela school buildings. 15th World Conference on Earthquake Engineering. Lisboa.
- DELGADO, S. Y MEROLA, V. (2013). Priorización de edificaciones escolares en Venezuela aplicando el Baremo Proyecto Escuela (BPE). T. E. G. para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- FEMA 154 (2002). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook. Second Edition. Applied Technology Council, Redwood City.

- GRIPPI, L. Y RODRÍGUEZ, M. (2008). Evaluación general del grado de riesgo sísmico de un grupo de estructuras escolares públicas de los Municipios Valencia, Guacara y Diego Ibarra del Estado Carabobo. T. E. G. para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Carabobo, Venezuela.
- HERNÁNDEZ, E. Y CONTRERAS, O. (2008). Índice del grado de vulnerabilidad sísmica de edificaciones escolares en Venezuela. T. E. G. para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Carabobo, Venezuela.
- IMME, FUNVISIS, FEDE. (2011). Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela. Informe Técnico Final. Proyecto FONACIT2005000188, Caracas.
- LEE C., ABOU F., LÓPEZ O. A. (2007). Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares del Tipo Antiguo II. Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV, Vol. 22, No. 2, p 99-110.
- LÓPEZ O. A. (2009). Indicadores de Riesgo Sísmico en Edificios Escolares de Venezuela. Boletín Técnico IMME, Vol. 47, Número 1, p 17-46.
- MENESES, J. Y AGUILAR, Z. (2004). Seismic Vulnerability of School Buildings in Lima, Peru. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 1683.
- NORMA VENEZOLANA COVENIN 1618 (1998). Estructuras de acero para edificaciones. Método de los estados límites. Comisión Venezolana de Normas Industriales, Caracas.
- NORMA VENEZOLANA FONDONORMA 1753 (2006). Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural. Fondo para la Normalización y Certificación de la Calidad, Caracas.
- NORMA VENEZOLANA COVENIN 1756 (2001). Edificaciones sismorresistentes. Comisión Venezolana de Normas Industriales, Caracas.

