

REFERENCIAS CITADAS EN EL TEXTO

1. AFPS (1990). *Recommandations de la Association Française du Génie Parasismique*. París. 183 p.
2. American Society of Mechanical Engineers (1985) *Seismic performance of pipelines and storage tanks*. New York.
3. Ariman T., Lee B.; Chen Q. (1987) Failure of buried pipelines under large ground deformations. In: Ariman et al., *Recent advances in lifeline earthquake engineering. Developments in Geotechnical Engineering*, vol. 49. Amsterdam, Elsevier.
4. Armada de Venezuela (1997) *Precipitación mensual en la Estación Meteorológica Observatorio Cagigal (1947-1996)*. Caracas, Dirección de Hidrografía y Navegación.
5. ASTM. *American Standard of Testing Materials*.
6. Brazeo, R.J. (1979) Reevaluation of modified Mercalli intensity scale for earthquakes using distance as determinant. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 69(3): 911-924, June.
7. Building Seismic Safety Council (BSSC) (1987) *Abatement of seismic hazards of lifelines; proceedings of a Workshop on Developments of an Action Plan. Vol 5, Papers on gas and liquid fuel lifelines and special workshop presentations*. FEMA-139, July, Washington D.C
8. Centre of Advanced Engineering (CAE) (1991) *Lifelines in earthquakes. Wellington case study* University of Canterbury, New Zealand, 39 p.
9. Chang, B.Q.; Chen R.F.; Wu P. (1992) Preliminary evaluation of seismic risk of earth dams. *Proc Tenth World Conf on Earthq Eng*, Madrid, vol 1, 467-470.
10. CORAL 83 (1997). *Evaluación del riesgo sísmico en el sistema de almacenamiento y transporte de agua potable para el área metropolitana de Caracas. Inf. Parte II*, mayo 102 p.
11. COVENIN 1756 (1982) *Edificaciones antisísmicas FONDONRMA*, Caracas, 67 p.
12. COVENIN 2003 (1986) *Acciones del viento sobre las construcciones. FONDONORMA*, Caracas 48 p.
13. Craig, R F. (1986) *Soil mechanics*. 4. ed. Chapman & Hall editors.

14. CUBIC (1989) Structural design requirements. Wind load. Caribbean Uniform Building Code, Part 2, Section 2. Georgetown, 54 p
15. Davis, F F. et al (1982) Earthquake planning scenario for a magnitude 8.3 earthquake on the San Andreas fault in the San Francisco bay area. California Department of Conservation, Division of Mines and Geology. Special Publication 61. 160p.
16. Datos empleados por INTEVEP en estudios de Torres costa afuera al norte de la península de Paria. 1983.
17. Dirección General de Recursos Hidráulicos (MOP) (1976) Grandes presas en Venezuela. El Agua; número especial. 297 p.
18. Earthquake Engineering Research Institute (EERI) (1986) Reducing earthquake hazards: lessons learned from earthquakes. Publication No 86-02. El Carrito. 208 p.
19. Eiding, J ; Ostrom, D.; Matsuda, E. (1995) High voltage electric substation performance in earthquakes. Proc 4th US Conf. Lifelines Earthq. Eng. San Francisco, 336-346.
20. Floris, C.; Colombo, A.; Mazzucchelli, A.; Morello M. (1990) Analisi statistica dei dati eolici in Milano centro. Atti del 1o Convegno Naz di Ingegneria del Vento, Firenze, 28-30 ottobre .
21. Grases, J. (1980) Investigación sobre los sismos destructores que han afectado el centro y el occidente de Venezuela. Proyecto INTEVEP 3 t. Caracas
22. Grases, J. (1994) Venezuela: amenazas naturales, terremotos, maremotos y huracanes. Caracas. 162 p.
23. Grases J., Malaver, A.; López, S ; Rivero, P. (1995) Seismic hazard evaluation for design and/or verification of a high voltage system. Proc 4th U.S. Conf on Lifeline Earthq Eng, San Francisco, August 10-12
24. Grinsteins, V. (1997),. Elevación (m.s.n.m.) versus progresivas (km) Tuy I, Tuy II y Tuy III (VGE 22-12-96) Caracas, 1 p.
25. Grünthal G. ed (1993) European macroseismic scale 1992. European Seismological Commission, Subcommittee on Engineering Seismology. Luxembourg, 79 p.
26. Guidicini, G ; Iwasa, O.Y. (1977). Tentative correlation between rainfall and landslides in a humid tropical environment. Bulletin Intl. Assoc. of Engrg. Geol. (16): 13-20, December.
27. Hanson, R.D. and Degenkolb H.J. (1969) The Venezuela earthquake, July 29, 1967. American Iron and Steel Institute. New York, 176 p.

28. Hopkins, D.C ; Lumsden, J.L; Norton J.A. (1993) Lifelines in earthquakes; a case study based on Wellington. Bull. of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, 26(2): 208-221, June.
29. Hunt, Roy E. (1984) Geotechnical engineering investigation manual. McGraw-Hill.
30. Keefer D.K. (1984) Landslides caused by earthquakes. Bull. Geol. Soc. of America, 95: 406-421.
31. Liao; Whitman (1985) Overburden correction factor for SPT in sand. J Geotech. Engrg. Div., ASCE 112(3) 373-377.
32. Manual of engineering handbook (1979) Sediment sources, yields, and delivery ratios. Section 3: Sedimentation, chapter 6, 6.1-6.14.
33. MARNR (1995) Venezuela, grandes presas. Caracas, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Vol. I (165 p.).
34. Nyman, D (1984) Guidelines for the seismic design of oil and gas pipelines systems. committee on gas and liquid fuel lifelines. American Society of Civil Engineers. New York. 473 p.
35. Owen, G N.; Sholl, R.E. (1981) Earthquake engineering of large underground structures. JAB-7821. San Francisco: URS/John A. Blume. Citado por: St John C.M. y Zahrah T.F. (1987) Aseismic design of underground structures, tunnelling and underground space technology. 2:2. 165-167.
36. PDVSA (1993) Manual de ingeniería de riesgos, Volumen 1 Criterios para el análisis cuantitativo de riesgos. IR-S-02. Caracas. Vol. 1 (92 p.)
37. Peck, R B ; Hanson, W.E.; Thornburn, T.H. (1974) Foundation engineering. 2. ed. New York, John Wiley & Sons. p. 514
38. Pieretti, J G. (1965) Proyecto del sistema de bombeo Tuy No 2. Memoria descriptiva. Caracas, ediciones Plinio Alfonso. 3 vols.
39. Ramírez, Betty (1997) Plan de emergencia para atender situaciones de desastre en el acueducto metropolitano de Caracas, ante averías ocurridas en el sistema de producción. Trabajo especial de grado para optar al título de MSc en ingeniería sanitaria, UCV (en preparación)
40. Schmertman (1975) Measurement of in-situ shear strength. Proc. ASCE, Specialty Conf. on In-situ Measurement of Soil Properties, Raleigh, p. 57-138.

41. Schubert C.; Valastro S.; Cowart J.B. (1977) Evidencias de levantamiento reciente en la costa norte-central (cordillera de la costa) de Venezuela. *Acta Científica Venezolana* 28: 363-372.
42. Schuster; Krizek (1976). *Landslides analysis and control*. Special Report 176. Transportation Research Board. National Academy of Sciences.
43. Seed; Idriss (1982). *Ground motions and soil liquefaction during earthquakes*. Berkeley, Earthquake Engineering Research Center, University of California. p. 134.
44. Shinozuka M.; Murata, M.; Iwata, T. (1992) Strategies for repair and restoration of seismically damaged gas pipeline systems. *Proc 4th US-Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems*, NIST Spec Public 840, Washington. p. 391-405.
45. Singer, A., Rojas, C.; Lugo, M. (1983) *Inventario nacional de riesgos geológicos; estado preliminar*. Caracas, FUNVISIS. 126 p
46. Stark; Eid, H.T. (1994) Drained residual strength of cohesive soils. *J. Geotech. Engrg. Div., ASCE*, 120(5): 856-871.
47. Stark; Olson (1995). Liquefaction resistance using CPT and field case histories. *J. Geotech. Engrg. Div., ASCE*, 121(1): 856-869.
48. Suárez, M. (1997) comunicación personal.
49. Terzaghi; Peck (1967) *Soil mechanics in engineering practice*. 3. ed. New York, John Wiley & Sons,
50. Terzaghi, K.; Peck, R.; Mesri, G. (1996) *Soil mechanics in engineering practice*. 3. ed. New York, John Wiley & Sons p. 675
51. Tsuchida (1970) Predictions and countermeans against liquefaction in sand deposits. *Abstract of the Seminar in the Port and Harbor Research Institue*. Yokohama. p. 3.1-3.33
52. Wells, D.; Coppersmith, K. (1994) New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bull. Seism. Soc. of America*, 84(4):974-1002.
53. Williams J.R., Berndt H.D. (1977) Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *Transactions of the ASAE*, 1100-1104.
54. World, R.L.; Jochim C.L. (1989) *Landslide loss reduction: a guide for state and local government planning*. Washington, 50 p. *Earthquake Hazard Reduction Series 52*, FEMA 182.

ANEXOS

ANEXO A

PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR EL POTENCIAL A LA LICUEFACCIÓN EN DEPÓSITOS GRANULARES

El procedimiento consiste en comparar la resistencia cíclica promedio a la licuefacción del depósito con la carga cíclica promedio impuesta por el sismo. La metodología utiliza los resultados de la prueba de penetración estándar SPT para evaluar la resistencia cíclica promedio del depósito a la licuefacción. Sin embargo, existe una metodología más reciente que utiliza los resultados de la prueba de penetración de cono CPT (Stark and Olson, 1995).

ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA CÍCLICA PROMEDIO DEL DEPÓSITO A LA LICUEFACCIÓN

Metodología con la prueba de penetración estándar (SPT)

Para determinar la resistencia cíclica promedio del depósito con los resultados de la prueba de penetración estándar SPT, el número de golpes N obtenido en esa prueba debe ser corregido por esfuerzo efectivo de sobrecarga, contenido de finos y eficiencia en la ejecución del ensayo. Debido a que el valor de N para un determinado depósito está en función del esfuerzo efectivo de sobrecarga, el valor medido de N se convierte a un valor de presión de sobrecarga estándar N_1 mediante la siguiente expresión propuesta por Liao y Whitman (1985):

$$N_1 = N \cdot \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{1.2}$$

En la ecuación, N representa el número de golpes medidos en la prueba de penetración estándar. σ'_{vo} es el esfuerzo efectivo en Pa a la profundidad donde se midió N y N_1 es el número de golpes a una presión de sobrecarga estándar.

Adicionalmente, los valores de N medidos en la prueba de penetración estándar SPT necesitan ser corregidos por eficiencia. La energía que efectivamente imparte el martillo durante la ejecución de la prueba de penetración estándar usualmente difiere en diferentes partes del mundo y la misma varía entre 40% y 90% de la energía teórica (Schmertmann, 1976). Para evaluar el potencial de licuefacción se seleccionó el 60% como el valor estándar y el mismo se designa como N_{60} . Por lo tanto, cuando el valor de N se determina impartiendo una energía diferente de 60%, la misma debe ser convertida al valor estándar mediante la expresión:

$$N_{60} = N \cdot \left(\frac{E}{60} \right)$$

Donde E representa la eficiencia usada en la determinación de N. El cuadro A.1 presenta valores de eficiencia en la prueba de penetración estándar de varios países.

Cuadro A.1

País	Eficiencia E
Argentina	0,45
China	0,50
Colombia	0,50
Japón	0,66
USA	0,60
Venezuela	0,43

Fuente: De Coduto, 1994

El valor del número de golpes corregido por eficiencia y esfuerzo efectivo de sobrecarga se denota como $(N_1)_{60}$. Este valor representa una medida de la densidad relativa del depósito o resistencia promedio a la licuefacción de arenas limpias con contenido de finos pasante del tamiz No. 200, menor de 5%.

Cuando el contenido de finos es mayor de 5%, el valor de $(N_1)_{60}$ debe ser corregido. Esto se debe a que el grado de drenaje durante la SPT disminuye con el incremento del contenido de finos, por lo tanto, el número de golpes medido durante el ensayo subestima la resistencia a la licuefacción en las arenas limosas. Por ello, el valor de $(N_1)_{60}$ debe ser incrementado en la cantidad $\Delta(N_1)_{60}$ dada en la figura A.1.

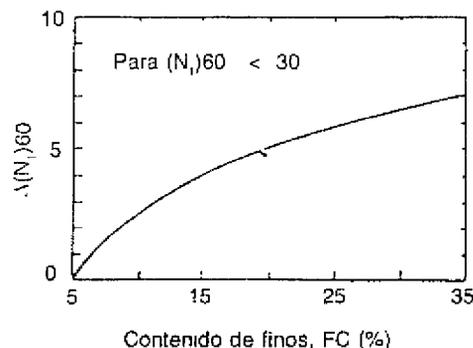


Figura A.1
Corrección por finos para la prueba de penetración estándar

ESTIMACIÓN DEL ESFUERZO SÍSMICO IMPUESTO POR EL SISMO

La magnitud del esfuerzo cíclico promedio impuesto por el sismo se puede estimar con el procedimiento simplificado propuesto por Seed e Idriss (1982), según la siguiente expresión:

$$\frac{\tau_{(sismo)}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d$$

donde:

- $\tau_{(sismo)}$ = Esfuerzo de corte cíclico promedio impuesto por el sismo.
- a_{max} = Máxima aceleración del sismo impuesta en la superficie del terreno.
- g = Aceleración de la gravedad.
- r_d = Coeficiente de reducción de esfuerzos, el cual puede ser evaluado como:
 $r_d = 1 - 0.01 z$ (z es la profundidad en metros).
- σ_{vo} = Esfuerzo total a la profundidad donde se evalúa el potencial.
- σ'_{vo} = Esfuerzo efectivo a la profundidad donde se evalúa el potencial.

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN

Metodología con la prueba de penetración estándar SPT

Una vez calculados los valores de $(N_1)_{60}$ (incluida la corrección por finos) y el esfuerzo cíclico promedio impuesto por el sismo, estos valores son ploteados como abcisas y ordenadas, respectivamente. Los puntos cuyas coordenadas estén en la parte superior de la línea divisoria representarán depósitos susceptibles de sufrir licuefacción, mientras que los puntos cuyas coordenadas estén en la parte inferior de la línea divisoria representarán depósitos donde se espera que no se produzca licuefacción.

La línea sólida en la figura A.2 representa la línea divisoria entre los casos donde se observó licuefacción y los casos donde no se observó licuefacción en sismos de magnitud 7.5, cuya energía genera usualmente unos 15 ciclos representativos de carga. La ecuación de la línea sólida en la figura A.2 viene dada por la siguiente expresión:

$$\frac{\tau}{\sigma'_{vo}} = 0,011 \cdot [(N_1)_{60}]$$

donde:

- τ = Esfuerzo de corte cíclico promedio requerido para causar licuefacción.
- $(N_1)_{60}$ = Valor del número de golpes de la prueba de penetración estándar debidamente corregido por esfuerzo de sobrecarga, eficiencia y finos.

Como puede apreciarse en la figura A.2 y su respectiva ecuación, es sólo válida para valores de $(N_1)_{60}$ menores de 20 golpes.

Para sismos de diferente magnitud, el número de ciclos representativos de carga varía y por consiguiente el esfuerzo de corte cíclico promedio también varía. Por lo tanto, la línea sólida en la figura A.2 debe ser modificada para sismos de diferentes magnitudes. Seed e Idriss (1982) desarrollaron un factor de corrección C_n para ajustar la línea sólida de la figura A.2 o la ecuación. Este factor de corrección aparece en el cuadro A.2.

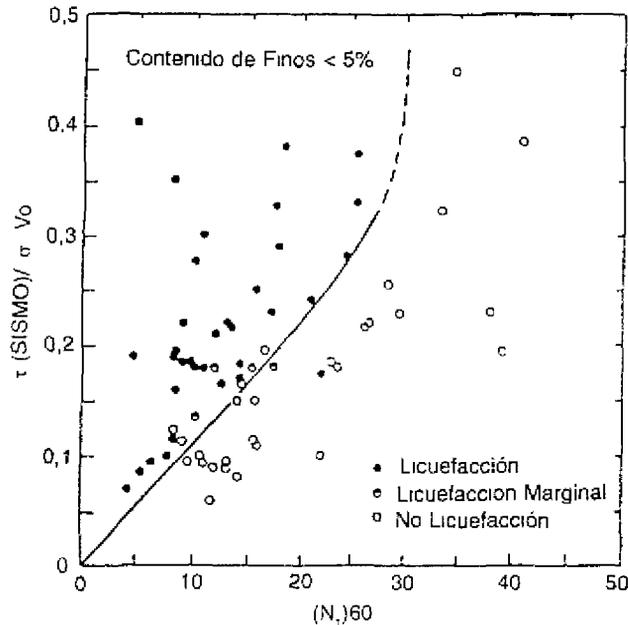


Figura A.2
Criterio de licuefacción

Cuadro A.2
Factor de corrección según la magnitud del sismo

Magnitud del sismo	C_n
8,5	0,89
7,5	1,0
6,75	1,13
6	1,32
5,25	1,5

Las ordenadas de línea sólida de la figura A.2 deben multiplicarse por el factor de corrección C_n correspondiente a la magnitud del sismo considerado para generar una nueva línea divisoria que servirá como limite entre licuefacción y no-licuefacción para un sismo de esa magnitud.

Ejemplo de evaluación del potencial de licuefacción

Se estima que un sismo de magnitud 7,5 generará una aceleración de 0,15 g en un depósito de arena uniforme ($C_u = 3$) fina y relativamente limpia (contenido de finos menor de 5 %) ubicado a cierta distancia del epicentro. Se determinó que el nivel freático se encuentra a un metro de profundidad. Se realizó una prueba de penetración estándar (SPT) con 60% de eficiencia y se determinó que el número de golpes N a 7 m de profundidad es de 12 golpes. Se desea evaluar la susceptibilidad a la licuefacción del depósito a dicha profundidad.

Solución

- a) Se calcula el esfuerzo total y el esfuerzo efectivo a 7 m de profundidad

$$\sigma_{vo} = 19 \text{ KN/m}^3 \cdot 7 \text{ m} = 133 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - U = 133 \text{ kPa} - 6 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ KN/m}^3 = 74,14 \text{ kPa}$$

- b) El valor medido de N se convierte a un valor de presión de sobrecarga estándar $(N_1)_{60}$. Debido a que se usó una eficiencia de 60 % en la prueba de penetración estándar (SPT), el factor de corrección por eficiencia es la unidad, mientras que la corrección por presión de sobrecarga se determina según la ecuación

Este valor de $N = (N_1)_{60} = 12$ será usado como abscisa en la figura A.2. No es necesario hacer la corrección por finos ya que el mismo es menor de 5%.

- c) La carga cíclica promedio inducida por el sismo se estima según la ecuación.

$$\frac{\tau_{(sismo)}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{av}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d$$

la cual resulta en 0,16

Este valor será usado como ordenada en la figura A.2

- d) Se plotean los valores de $(N_1)_{60}$: en la figura A.2 este punto se ubica en la parte superior de la línea divisoria y, por lo tanto, habrá licuefacción en caso de un evento sísmico como el descrito.

ANEXO B

G L O S A R I O

Aluvión: Depósito de suelo que generalmente está compuesto por grava, arena y algunos limos. Los aluviones son el resultado del arrastre de sedimentos de ríos o corrientes de agua.

Amenaza: Fenómeno natural o provocado por la actividad humana (antrópico) que se torna peligroso para las personas, propiedades, instalaciones y para el medio ambiente.

Análisis de vulnerabilidad: Proceso para determinar los componentes críticos de los sistemas a fin de establecer las medidas de mitigación ante amenazas.

Arcilla preconsolidada: Arcilla que en el pasado geológico fue sometida a una carga mayor que la que soporta en la actualidad.

Buzamiento: Inclinación de la recta de máxima pendiente de un estrato con respecto a un plano horizontal.

Capacidad operativa: Capacidad para la cual fue diseñado el componente o sistema.

Caño: Canal angosto por donde circula una corriente de agua en forma intermitente.

Carga: Máxima altura de bombeo de una estación de bombeo.

Componente: Parte discreta de un sistema capaz de operar independientemente, pero diseñado, construido y operado como parte integral del sistema.

Confiabilidad: Probabilidad de falla de un componente o sistema.

Depósito coluvial: Suelo formado al pie de una montaña o ladera producto del desprendimiento o arrastre de material de la montaña o ladera.

Desastre: Manifestación de un fenómeno natural o antrópico que se presenta en un espacio y tiempo limitado, y que causa situaciones de emergencia que exceden la capacidad de respuesta.

Diaclasa: Fractura sin desplazamiento presente en macizos rocosos.

Emergencia: Situación inesperada que se presenta por el efecto de una amenaza.

Estado de emergencia: Situación declarada ante la inminencia del efecto de una amenaza o después que ésta ha ocurrido.

Falla: Fractura con desplazamiento en macizo rocoso provocada por movimientos geológicos.

Fenómeno natural: Manifestación de las acciones de la naturaleza, tales como terremotos, huracanes, erupciones volcánicas y otros.

Flexibilidad: Se refiere a la capacidad de operación alternativa de los componentes.

Flujo de viento en la altura: Flujo de vientos fuertes que se producen dentro de la banda de nubes del tipo cirros.

Masa de aire: Porción de aire extensa con una aproximada homogeneidad horizontal (uniformidad) en sus propiedades físicas. La temperatura y la humedad de la porción del aire pueden variar de un nivel a otro. Debe cubrir una vasta área.

Meteorización: Conjunto de modificaciones de la roca causadas por agentes atmosféricos, tales como lluvia, vientos y cambios de temperatura.

Onda tropical: Masas de nubes embebidas en el cinturón de los vientos alisios que desde las bajas presiones ecuatoriales se desplazan hacia el oeste y se extienden hacia el polo. Aparecen en el mes de junio en el Atlántico tropical cuando la temperatura del agua de mar empieza a aumentar sobre los 28 °C.

Plan de emergencia: Conjunto de medidas que se aplican antes, durante y después de una amenaza como respuesta al efecto de la misma.

Plan de mitigación: Conjunto de medidas y obras para minimizar los efectos de las amenazas y reducir la vulnerabilidad de los componentes de los sistemas.

Preparación: Conjunto de medidas definidas que deben implantarse antes de que se presenten los impactos de las amenazas.

Prevención: Acciones de preparación para disminuir los efectos de las amenazas.

Programa para la atención de emergencias y desastres: Comprende el plan de emergencia y el plan de mitigación.

Quebrada: Corriente de agua de régimen permanente o intermitente de poco caudal.

Redundancia: Componentes o subcomponentes adicionales de operación en paralelo, por ejemplo, los grupos de bombas en una estación de bombeo.

Riesgo: Medida del impacto de una amenaza, expresada en términos probabilísticos.

Río: Corriente de agua de régimen permanente o intermitente que se desplaza por un cauce, tiene una fuente o cabecera y desembocadura a una gran cuenca.

Sistema de agua potable: Conjunto de componentes construidos e instalados para captar, transmitir, tratar, almacenar y distribuir agua a los usuarios. En su más amplia acepción comprende también las cuencas y acuíferos.

Suelo residual: Suelos formados por efecto de la meteorización de la roca madre. Estos suelos no han sido transportados y presentan vestigios de la roca original.

Vaguada: Resultado de la penetración de aire frío desde niveles altos hacia la superficie. Generalmente la circulación de esta masa de aire frío tiene forma de V. La nubosidad típica de esta formación son nubes del tipo estratiforme que produce llovizna y escasa visibilidad.

Vulnerabilidad: Medida de la debilidad de un componente para resistir los efectos de las amenazas naturales o antrópicas.

Zona de convergencia intertropical (ZCIT): Zona de baja latitud, relativamente estrecha, en la cual las masas de aire que provienen de los dos hemisferios convergen en niveles bajos sobre los océanos, ligadas estrechamente a un régimen de vientos débiles y variables. La ZCIT es el límite entre los vientos alisios del noreste y sureste del hemisferio norte y sur, respectivamente. Es la zona de nacimiento de los ciclones tropicales que ocasionalmente devastan áreas de los trópicos y, en algunos casos, son los responsables de pérdidas de vidas humanas.



**ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la
ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD**

525 Twenty-third Street, N.W.
Washington, D.C. 20037, EUA
Internet: disaster@paho.org
www.paho.org/spanish/disaster/htm

**Impreso en el
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y
Ciencias del Ambiente (CEPIS)
Los Pinos 259, Urb. Camacho, Lima 12, Perú
Casilla de Correo 4337 - Lima 100, Perú
Teléfono: (511) 437-1077 Fax: (511) 437-8289
Internet: cepis@cepis.org.pe
<http://www.cepis.org.pe>**