MEJORANDO EL DESARROLLO RIESGO SUSTENTABLE

INFORME FINAL

"RE-INGENIERÍA RUN-UP O ALTURAS DE INUNDACIÓN MÁXIMAS TEÓRICOS EN COLEGIO AIS CIUDAD DE ANTOFAGASTA".

Equipo de trabajo:
Jorge Ramírez Fernández Geógrafo-hidrólogo
Gustavo Oses Arce Ing. Civil Geomático
Jorge Valdés Briones Ing. Prevención Riesgos

Antofagasta 3 de abril 2014

PLANO RIESGO INUNDACIÓN DE TSUNAMI EN INSTALACIONES AIS

I.- INTRODUCCIÓN

Durante el mes de julio de año 2009 se entregó un estudio de riesgos naturales al AIS, solicitado por el Colegio, consistente en riesgos de tsunami y aluviones con el objeto preparar planes de contingencia basados en recomendaciones técnicas y datos científicos de ambos peligros naturales. Respecto de tsunamis, se elaboró una simulación numérica del evento de 1877, basado en un terremoto de magnitud 8.5°.

Como resultado de este trabajo se dibuja una curva de inundación máximo teórica de 8 msnm., en los terrenos del AIS y aledaños al colegio y una zona de seguridad que va de los 25 a los 30 msnm. Resultados que entendemos permitió al colegio elaborar ejercicios de evacuación a dichas zonas seguras.

II.- JUSTIFICACIÓN

Sin embargo, el gran Terremoto de magnitud 8.8º Mw y Tsunami del 27 de febrero del 2010 pasado, mostró una faceta desconocida para los expertos, lo primero es que la comunidad esperaba un terremoto del orden de 8.5º de magnitud y ocurrió un 8.8º, casi tres veces mayor en términos de energía, lo segundo, es que los terremotos y tsunamis, sin ser destructivos a lo ancho del Pacífico pueden causar daños y destrucción muy extensamente en las costas cercanas a la zona de fractura, esto es localmente. Casi un año más tarde, el 11 de marzo del 2011, ocurre un potente terremoto en las costas de Japón, otra vez, la comunidad científica esperaba uno de magnitud 8.2 y ocurre uno de 9º, esto es casi 16 veces mayor que lo esperado. Todo esto generó sorpresa y por supuesto un alto nivel de daños y pérdidas humanas y materiales. Incluso ocurre lo que se llama desastres combinados, pues el tsunami destruyó el sistema de refrigeración de la planta nuclear de Fukushima generando un incidente ambiental mayor.

Dado estos antecedentes reales se justifica hacer una re-ingeniería al estudio elaborado el año 2009. Ahora poniéndose en un escenario de mayor energía, de tal manera se rehacen los cálculos tomando un terremoto 9°, esto es 6 veces mayor que el de diseño del año 2009 (8.5°). Con este nuevo escenario, considerado “el peor” se piensa que cualquier terremoto menor que ocurra y genere tsunami debiera estar cubierto por los parámetros diseñados para este escenario mayor, y por supuesto para este mismo escenario también.

III.- METODOS DE CÁLCULO

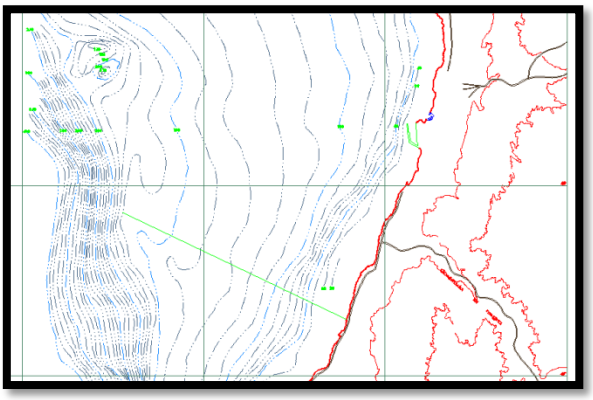
MÉTODOS LINEALES DE CÁLCULO.

Para calcular alturas de inundación máximo teórica en los terrenos del Colegio AIS de la Ciudad, se seleccionaron tres modelos conocidos, los cuales permiten establecer el runup (altura máxima teórica de inundación de tsunami) para un terremoto estimado en magnitud 9º, a saber:

Cuadro Resumen Ejecutivo del run-up en los terrenos del AIS, calculados por los tres modelos lineales empleados.

Sector	Run-Uup (msnm) Modelo (Mazova y otros1989)	Run-up (msnm) Modelo (Edward Bryant 2008.)	Distancia Penetración mar en tierra (mts). (Hills and Mader, 1997)	Cota Alcanzada penetración del mar (msnm).	Promedio Run-up (msnm)
Terrenos Colegio AIS	9.3	17	139	13-14	**13**

Plano referencial del perfil de energía trazado



Batimetría UCN

METODODOLOGIAS Y RESULTADOS

RUNUP SECTOR AIS. ANTOFAGASTA

1. El modelo de la Doctora Mazova R, Pelinovsky E.N., Golin`ko V. I., 1989 "Tsunami wave runup on a beach: Rigorous analytical result." Academy of Science of the USSR. Cuya expresión matemática es:

$$R = Ho * P * \sqrt{\frac{L}{Z}}$$

Este modelo está basado en los parámetros geométricos de la playa sumergida junto con parámetros de mecánica de las ondas de tsunami. La Dra. Mazova y otros, llegan a esta fórmula tras un riguroso análisis matemático de alto nivel.

Siendo :

R = Inundación máxima en un punto de la costa o runup expresado en metros sobre el nivel medio del mar.

H_o = Amplitud de la onda de tsunami en el inicio de la playa sumergida.

P = Parámetro matemático.

L = Longitud playa sumergida.

Z = Longitud de onda.

Datos:

H_0 = Amplitud de la onda en el inicio de la playa. 3.2 mts.
L = Longitud playa sumergida 12030 mts.
Z = Longitud onda en el veril 160 msnm. 35631 mts.
P = Parámetro matemático. 5

.

Resultados del runup o altura máxima de inundación en sector Colegio AIS

R = Máximo runup, o altura de inundación en tierra firme 9.3 msnm.

Datos y Cálculos.

Se tomó como base de datos, el gran tsunami de 1877 ocurrido frente a Pisagua en la I Región. De tal forma, se simula este evento como si volviera a repetirse.

Se parte con el dato de 1.2 mts. en el veril 3500 mts. para un terremoto de 8.5 ° magnitud, calculado por Anguita en Publicación IHA.3014-A 1977, para calcular luego la amplitud de la onda de tsunami en el veril 3500 msnm, para un terremoto magnitud 9° Mw, se utiliza la correlación " Alturas de ondas de tsunami originadas por sismos con epicentros marinos entre las latitudes 18° y 24° S y próximos a la costa" (Keller y Keller, Van Dorn 1977). [$H/Hr = (1.08M-8.2)^{0.5}$]; siendo Hr amplitud onda registrada para un sismo de magnitud 8.5 para una profundidad de 3500 m., y H cualquier amplitud de onda para distintas magnitudes del terremoto en ese veril.

Con este valor, se aplicó la ecuación de Green, para conocer la amplitud del tsunami en el veril 190.8 m, límite playa sumergida frente a EDICORP, cuya expresión es :

$$\mathbf{H2 = (d_1/d2)^{1/4}\ H1}$$

Siendo: d_1 = veril 3500 mts
d_2 = veril 160 mts., límite playa sumergida
H_1 = 1.48 mts. (amplitud tsunami en el veril 3500 m., para un terremoto 9°)
H2 = H0 = 3.2 mts. (amplitud tsunami en el veril 160 m., para un terremoto 9°)

Para estimar la Longitud de la Playa Sumergida L, se usó la carta batimétrica digital Universidad de Antofagasta CIMCN. Proyecto Plano Riesgo Tsunami Antofagasta año 2011., quedando L = 12030 mts. en el peor escenario.

Para obtener el período T de esta onda, se tomó la referencia histórica de 1877 que señala que la segunda onda llegó a los 15 minutos, lo cual hace suponer que los períodos de tsunamis del norte de Chile, son parecidos a 20 minutos, según Anguita 1977. Ida, Cox, Pararas-carayannys en "Preliminary Catalog of Tsunami…" 1967. Finalmente se tomó T = 15 min., como el peor caso, esto es, el más dañino.

Para obtener la velocidad de la onda, se aplicó la ecuación de Lagrange

$$\mathbf{U = (g\ h)^{1/2}}$$

g = aceleración de gravedad 9.8 m/seg^2
h = profundidad del agua en el veril 188 correspondiente.
U = 39.59 m/seg.

Por lo tanto, teniendo U y T, se procedió a calcular Z, la longitud de la onda, cuyo resultando es; Z = 35631 mts. en el veril de 160 msnm.

2.- Penetración del mar tierra adentro sector desembocadura Quebrada La Negra-Universidad de Antofagasta.

Resulta muy útil calcular la distancia desde la costa que el mar puede alcanzar en la mayor inundación posible, esto es, en la onda de mayor energía. Este valor toma en cuenta las irregularidades que posee el suelo al momento de inundar. Por ejemplo, una zona cuyo suelo este formado por pasto corto, el mar puede penetrar varios kilómetros, pues no encuentra resistencia el paso del agua. En tanto, una zona de construcciones o bosque cerrado, opondrá mayor resistencia al paso del agua, en consecuencia el mar penetra menos distancia tierra adentro. El caso concreto en el sector Colegio AIS en Antofagasta solo tiene el colegio mismo y la fuerte pendiente del terreno, lo cual juegan un importante papel en la reducción de energía de las aguas, por tal razón se aplicó una "n" de Manning, o coeficiente de rugosidad correspondiente a suelos con construcciones. De tal forma, el mar alcanzaría a cubrir 139 metros desde la línea de playa actual. Se puede destacar que la cota en el sector sur del colegio es 13 msnm., en tanto en el sector norte 11-12-13 msnm. Ver Plano Base Google Earth siguiente, donde se destaca la línea azul que delimita hasta donde alcanza el mar según estos cálculos.

Cálculo de la distancia de penetración del mar.

Se aplicó la expresión; (Hills and Mader, 1997)

$X_{max} = (H_t)^{1.33}\, n^{-2}\, K$

Donde :

X_{max} : distancia en metros que puede alcanzar el mar en la mayor inundación = 139 **msnm.**

H_t : Amplitud de la onda en el inicio de la playa sumergida. Esto es en el veril 160 m

n : Coeficiente de rugosidad del suelo o "*n*" de Manning = 0.045

K : Constante de la ecuación.

3.- Cálculo de Run-up según modelo lineal Ecuación 2.13 Libro "Tsunami" The Underrated Hazard, Second Edition, de Edward Bryant 2008.

Existen varias formas de calcular con modelos lineales la altura máxima de inundación, entre ellas considerar que la onda de tsunami que ataca corresponde a una onda solitaria, cuyos valores de inundación son siempre más altos que considerar por ejemplo ondas de tipo sinusoidales. Sin embargo, durante el gran Tsunami de Asia el año 2004, se registraron ondas del tipo N-waves, simples y dobles, que son distintas a las anteriores, en especial por que producen mucho daño y destrucción, siendo las dobles las que producen mayor daño y run-up. De tal forma, se utilizó la formula 2.13 doble N-wave para calcular altura máxima de inundación en los terrenos del AIS, de modo se consideró el peor escenario, cuya expresión matemática es:

$$\mathbf{Hr_{(max)} = 4.55(\cot \beta)^{0.5}\, H_t^{1.25}}$$

$Hr_{(max)}$: run-up o cota máxima de inundación en tierra firme. = **16.9 = 17 msnm**

H_t : Amplitud de la onda en el inicio de la playa sumergida. Esto es en el veril 160 m

: Pendiente Playa Sumergida en grados.

Como resultado se tiene que la mayor onda de tsunami, podría alcanzar una inundación hasta la cota 17 msnm.

IV.- PLANO RIESGO INUNDACIÓN TSUNAMI COLEGIO AIS.

Consideraciones:

1.- Peor escenario posible, tsunami originado por terremoto 9°.
2.- Cota de inundación promedio 13 msnm línea azul.
3.- Zona de seguridad, explanada norte 31 msnm, falda cerro sur 34 msnm.
4.- De ser necesario en ambos sectores de encuentro se puede continuar escalando.
5.- Tiempo aprox. que tarda en llegar la primera onda 13 minutos.
6.- La primera onda no es destructiva y sólo alcanza 5-6 msnm., borde camino.
7.- Línea roja ruta de evacuación hacia ambos PEE.

VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- El plano elaborado el año 2009 la cota de inundación alcanzaba los 8 msnm, en tanto la nueva cota en el peor escenario de terremoto y tsunami queda en 13 msnm como promedio.

2.- El PEE Norte esta sobre una explanada a 31 msnm, y permite el ascenso rápido y expedito. Está ubicado a 180 metros, caminando desde la entrada de la cancha de futbol a una velocidad de 3 k/hr.,

se tardan sólo 3.6 minutos en alcanzar el PEE Norte. Adicional, está sobre una explanada estable y segura de la caída de escombros y rocas manteadas por el cerro por lo cual se recomienda usarlo como zona de refugio temporal durante una amenaza de tsunami.

3.- El PEE Sur, está ubicado sobre la falda del cerro a una altitud de 34 msnm., y 280 metros desde la salida sur del colegio, se puede alcanzar en 5.6 minutos a una velocidad de 3 km/hrs. Esta zona de seguridad está ubicada sobre terrenos con pendiente. Se recomienda limpiar la ruta de evacuación colmatada en algunos puntos con escombros.

4.- De igual modo se recomienda usar ambas salidas simultáneamente con el objeto de reducir el tiempo de evacuación del colegio en su totalidad.

5.- Se recomienda habilitar algún conteiner en PEE Norte con víveres, implementos de primeros auxilios y otros. Este PEE Norte puede abastecer al PEE Sur pues se comunican fácilmente por la zona alta.

6.- Este estudio se basa en los mejores antecedentes disponibles a la fecha y la experiencia acumulada, de modo que los resultados y recomendaciones se estiman lo más razonablemente adecuado para las condiciones y terreno del AIS en una actividad de evacuación in-situ, toda vez que una evacuación a lugares distantes o retorno a sus hogares entraña alto peligro y exposición.