

Estudio sobre los peligros que pueden generar desastres sobre el Parque Solar Fotovoltaico “Santa Teresa”.

Study on the dangers that can generate disasters on the “Santa Teresa” Photovoltaic Solar Park.

Autor: Lic. Yordan Pérez-Caballero, Ing. Daubel Ávila-Méndez, M Sc. Eduvigis Pérez-Romero, Ing. Maryoris Assef-Rodríguez, Arq. Alieski Preval-Wilson.

Organismo: Taller de Estudios y Soluciones Ambientales. Equipo de Riesgos. Agencia GEOCUBA, Guantánamo, Cuba.

E-mail: yordan@gtmo.geocuba.cu

Telef: 32 5452, 8380, 9111 ext. 119

Resumen.

Se investigó con el objetivo de caracterizar y evaluar la peligrosidad que generan cada uno de los posibles eventos de origen natural que pudieran influir sobre El Parque Solar Fotovoltaico “Santa Teresa”, con un grado de severidad capaz de crear una situación de desastre debido al grado de daños a la economía, las infraestructuras y otros factores socioeconómicos, apreciaciones necesarias para la evaluación de la vulnerabilidad, el riesgo y la toma de decisiones en las acciones de enfrentamiento. Para esto se trabajó con las informaciones de bases de datos y reportes actualizados. Se constató que los peligros que pueden afectar a la instalación Parque Solar Fotovoltaico “Santa Teresa” pueden ser: Naturales: Meteorológicos: fuertes vientos asociados a ciclones tropicales, fuertes vientos no asociados a ciclones tropicales, tormentas eléctricas. Geológicos: procesos de manifestación súbita (Sismos) y de manifestación progresiva (erosivos).

Palabras clave: reducción de desastres; Parque Solar Fotovoltaico; eventos naturales.

Abstract.

It was investigated in order to characterize and evaluate the danger that generate each of the possible natural events that may influence the "Santa Teresa" Photovoltaic Solar Park with a severity able to create a disaster due to the degree damage to the economy, infrastructure and other socioeconomic factors, assessments necessary for the evaluation of vulnerability, risk and decision making in the actions of confrontation. For this we worked with the information database and updated reports. It was found that the dangers that can affect facility "Santa Teresa" Photovoltaic Solar Park include: Natural: Meteorological: Strong winds associated with tropical cyclones, high winds not associated with tropical cyclones, thunderstorms. Geological: sudden manifestation processes (Earthquakes) and progressive manifestation (erosive).

Keywords: disaster reduction; Photovoltaic Solar Park; natural events.

Introducción.

El peligro, es un probable evento extraordinario o extremo, de origen natural, tecnológico o sanitario, que puede producirse en un momento, lugar, magnitud, intensidad, frecuencia y duración dada. Este puede afectar desfavorablemente la vida humana, la economía o las actividades de la sociedad al extremo de provocar un desastre.

Para apreciar el peligro (severidad de un evento que se manifiesta con una frecuencia en un área geográfica de actuación definida) es imprescindible contar con una base de datos sobre la historia de las afectaciones producidas en el territorio por el evento que se estudia y mediante un análisis estadístico, establecer la frecuencia del posible impacto para diferentes magnitudes, incluyendo el evento extremo.

El objetivo de la investigación es caracterizar y evaluar la peligrosidad que generan cada uno de los posibles eventos de origen natural que pudieran influir sobre El Parque Solar Fotovoltaico “Santa Teresa”, con un grado de severidad capaz de crear una situación de desastre debido al grado de daños a la población, economía, las infraestructuras y otros factores socioeconómicos. Apreciaciones necesarias para la evaluación de la vulnerabilidad, el riesgo y la toma de decisiones en las acciones de enfrentamiento.

Desarrollo.

Existen diferentes tipos de peligros que pudieran dañar la instalación, entre ellos están los: **peligros de origen natural:** los fenómenos naturales son los que con más frecuencia causan desastres en el país y dentro de ellos principalmente los hidrometeorológicos. Un desastre, es un evento de suficiente magnitud, que altera la estructura básica y el funcionamiento normal de una sociedad o comunidad, ocasionando víctimas, daños o pérdidas de bienes materiales, infraestructura, servicios esenciales, medios de sustento a escala o dimensión más allá de la capacidad normal de las comunidades o instituciones afectadas para enfrentarlas sin ayuda. **Peligros de carácter meteorológicos:** como eventos meteorológicos que pueden generar amenaza en el área de estudio, (de acuerdo a sus características espaciales y estructurales) se encuentran los fuertes vientos asociados a fenómenos atmosféricos, que puede ser generado por ciclones tropicales o no y las tormentas eléctricas. El estudio de la dirección de los vientos y sobre todo de sus velocidades máximas tiene gran importancia para el Parque Solar Fotovoltaico Santa Teresa, ya que los elementos no estructurales son los que sufren más daños ante la incidencia de estos.

Fuertes vientos asociados a ciclones tropicales: de todos los fenómenos destructores que acompañan a un huracán, los fuertes vientos asociados son los que más afectarían, por lo tanto, es muy importante la categoría del organismo. Debido a la ubicación espacial y a las características del terreno, no existe la amenaza de inundación por intensas lluvias, ni penetraciones del mar. Los ciclones tropicales son perturbaciones atmosféricas que se forman en el mar durante la estación cálida, entre los meses de mayo a noviembre por efecto de los vientos alisios, las altas temperaturas del mar y la rotación de la tierra; consisten en una gran masa de aire con bajas presiones en su centro y fuertes vientos que giran en forma de remolino que transportan una gran cantidad de humedad. Este es catalogado como el evento meteorológico más destructivo. Según la escala Saffir – Simpson (SS) son

clasificados a partir de los vientos máximos sostenidos en un minuto. El poder destructivo de los huracanes aumenta rápidamente al aumentar la velocidad de los vientos sostenidos y disminuir la presión atmosférica, siempre que existan las condiciones favorables para su desarrollo. Para el análisis de los huracanes se usa una escala de cinco categorías.

Probabilidades y periodos de retornos de los ciclones tropicales: la probabilidad de afectación de un huracán al año es de 13,83 %, para un periodo de retorno de 0,13. Las mayores afectaciones se registrarán en la trayectoria probable de S a N. Es válido destacar que existe un alto grado de incertidumbre en cuanto a las trayectorias probables, ya que responden al estado general de la atmósfera en el momento de su paso.

Direcciones del viento que se esperan al paso de un huracán: los ciclones tropicales presentan en función de la trayectoria probable una dirección del viento, teniendo en cuenta el paso del huracán durante su acercamiento y después de su alejamiento.

Si el ciclón se desplaza de E – W la dirección del viento durante su acercamiento sería del N y en su alejamiento del S; si se desplaza de N – S la dirección del viento durante su acercamiento sería del E y en su alejamiento del W.

Rachas máximas del viento para distintas probabilidades y frecuencias: los menores valores de rachas máximas del viento tienen mayores probabilidades de ocurrencia y en correspondencia un menor periodo de retorno; lo contrario ocurre con los mayores valores de rachas máximas del viento, donde los periodos de retorno aumentan considerablemente en el tiempo, mientras que las probabilidades de ocurrencia disminuyen.

Últimos eventos que han afectado al área de estudio: según los registros históricos (serie 1851 – 2012) la provincia Guantánamo nunca ha sufrido los embates de huracanes de gran intensidad (categorías SS4 y SS5), en este período afectaron 22 huracanes. El 49,1 % de los ciclones tropicales que han incidido en la provincia, lo han hecho en la clasificación de tormenta tropical (vientos máximos sostenidos entre 63 – 117 km/h). El huracán Sandy fue el último evento que afectó a la ciudad, tuvo su máximo acercamiento al territorio, entre los días 24 y 25 de octubre del 2012, con una categoría SS1.

Las rachas que acompañan los ciclones tropicales duran pocos segundos, pueden alcanzar entre 1,5 - 1,6 veces la velocidad del viento máximo sostenido. Por lo antes expuesto, se puede considerar que asociados al huracán Sandy se originaron vientos con rachas no registrados por las estaciones, entre 172 y 184 km/h, sobre todo en los municipios del extremo W de la provincia (Guantánamo, El Salvador y Niceto Pérez).

Para determinar la frecuencia del viento se escogió la base de datos desde 1990 hasta 2013 de los huracanes que han afectado a la provincia en ese periodo.

Se debe tener en cuenta que la determinación de las trayectorias se realiza con un alto grado de fluctuación, debido a que responden al estado general de la atmósfera, el movimiento del resto de los sistemas predominantes en el área y a la temperatura del mar. No obstante, por tratarse de fenómenos naturales que pueden generar grandes daños, se evalúa que la peligrosidad ante fuertes vientos asociados a ciclones tropicales como **media**.

Fuertes vientos no asociados a ciclones tropicales: se realiza una evaluación de los vientos lineales de más de 50 km/h que en algún momento han ocasionado desastres en el valle de Guantánamo. Los vientos lineales no asociados a ciclones tropicales son fenómenos que de forma general tienen un carácter local y pueden afectar una zona sin incidir en otra vecina. En ocasiones alcanzan notable intensidad. Estos son los fenómenos meteorológicos que más daños causan a la economía después de las tormentas tropicales y los huracanes. Estos ocurren en Cuba en cualquier época del año.

En la provincia son más frecuentes en las zonas llanas, que es donde se produce la mayor actividad convectiva, al ocurrir en cualquier hora del día, pero hay una fuerte particularidad por las horas de la tarde. Ocurrieron en horas de la tarde, principalmente entre las 3:00 y las 5:00 pm siendo los años 2002, 2006 y 2012 los más activos. Teniendo en cuenta que la instalación en estudio se encuentra situada en una zona llana y que las direcciones de estos vientos no tienen una dirección definida, es decir son de difícil pronóstico y baja ocurrencia, se determina como **baja** la peligrosidad ante este evento.

Las Tormentas eléctricas (TE) y la severidad que en ocasiones se manifiestan constituyen los elementos dentro de las características de los fenómenos convectivos muy comunes en el valle de Guantánamo, integrándose este con las características físico – geográficas de la región.

Existe una franja con gran actividad de TE orientadas de E a W en la ladera S de la meseta del Guaso (que abarca partes de los municipios El Salvador y Manuel Tames).

En el valle de Guantánamo los meses de mayor ocurrencia de tormentas eléctricas son los que corresponden al período activo con un 23,7 como media mensual, en correspondencia con el 87,8 % del total del año, destacándose los meses septiembre, agosto y julio como los de mayor ocurrencia, mientras que para el período poco activo corresponde solo un 3,3 como media mensual en correspondencia al 12,2 %.

Todas las TE son peligrosas y la trayectoria de estas pueden ser caóticas, en la mayoría de los casos. Estudios del campo eléctrico atmosférico en tierra determinan que la distribución de cargas en tierra no es estática, sino que es dinámica, al formarse y generar aleatoriamente chispas en diferentes puntos geográficos al mismo tiempo, la intensidad y situación del campo cambia radicalmente. No se puede garantizar la zona de impacto del rayo una vez formadas las condiciones óptimas para su desarrollo, por lo tanto se evalúa la peligrosidad de **media**.

Eventos geólogo - geomorfológico de manifestación súbita (sismos): para la determinación de la peligrosidad ante eventos de manifestación súbita, no se contó con los datos específicos de microzonación sísmica del área donde está emplazada la instalación objeto en estudio emitidos por especialistas del CENAI y sí con las referencias y valores de la Norma Cubana para construcciones sismorresistentes (NC 46: 1999), por lo que el estudio se completará cuando se tengan los resultados de dicho informe.

Condiciones sismotectónicas de la zona de estudio: el peligro sísmico de Cuba presenta una particularidad interesante, consiste en el hecho de que se presentan dos formas de surgimiento de focos de terremotos: “entre placas” y de “interior de placa”. Ambos tipos se

corresponden a la actividad sísmica que se genera en estructuras tectónicas distribuidas en ese territorio.

En relación con la actividad sísmica reciente más significativa, la Red de Estaciones Sismológicas del Servicio Sismológico Nacional (SSN) del CENAISS ha registrado en los últimos años (2000 - 2010) más de 20 000 eventos sísmicos, de ellos la mayoría en la falla Oriente, en particular en el sector Santiago - Baconao de la provincia Santiago de Cuba. Con ello se valida el criterio de que en la provincia Santiago de Cuba se acumula la mayor cantidad de eventos con magnitudes que pueden producir algún tipo de afectación en las edificaciones de este territorio.

Los sismos perceptibles registrados durante el 2010 corresponden la mayoría al sector de referencia. De estos, el más significativo se reportó el 20 de marzo del 2010 con una magnitud Richter $M = 5,5$ y que por ser posterior al sismo de Haití del 12 de enero del 2010, produjo considerable estrés en la población de las provincias Santiago de Cuba y Guantánamo.

La intensidad sísmica para el municipio Guantánamo (VI grados MSK - EMS) puede sufrir variaciones en sus valores en correspondencia con las características ingeniero – geológicas *in situ* y con su ubicación espacial en particular respecto a las Zonas Sismogénicas. No obstante, desde el punto de vista sismo tectónico regional es importante destacar para cualquier evaluación del peligro sísmico que se realice para el municipio antes mencionado, el efecto que puede producir las Zonas: Palenque 1, Bayamo-Santiago y S Purial (como se le conoce en la literatura), por ser la más cercana y de mayor potencialidad sísmica del área en estudio, con magnitud máxima ($M_{m\acute{a}x} = 5,0, 5,5$ y $6,5$ Richter,).

Determinación de la zona sismoactiva de mayor influencia sobre la ciudad Guantánamo: la intensidad sísmica para el municipio Guantánamo puede sufrir variaciones en sus valores, en correspondencia con las características ingeniero – geológicas *in situ* y con su ubicación espacial en particular respecto a las Zonas Sismogénicas. Sobre las propiedades físico - mecánicas de los estratos que conforman la formación presente, según Seisdedos et al. (1984), se demostró que va aumentando la dureza a medida que crece la profundidad. Los espesores de los sedimentos cuaternarios, por encima de la formación San Luis con roca lutita intercalada con areniscas del Eoceno medio al superior, son muy estables, al igual que la capacidad soportante y la deformación ante las cargas. Los módulos de deformación son mayores de 200 kg/cm^2 en la mayoría de los casos.

Otras zonas activas que inciden en el comportamiento de la sismicidad de la región Guantánamo son Sabana 1 con una magnitud máxima de $7,0$ Richter y Purial con $6,5$ Richter.

Según estudios realizados, se definieron las características principales de las Zonas Sismogénicas de la región Sur Oriental, que pueden generar magnitudes capaces de provocar efectos negativos sobre las instalaciones; para ello la zona cercanas que mayor incidencia tiene en el área de estudio son Oriente 1, Oriente 3, Baconao 1, Santiago - Moa y Purial, siendo la primera la de mayor potencialidad sísmica:

Zona Sismogénica Oriente (Bartlett - Caimán): está asociada a la falla geológica transcurrente Oriente que se encuentra al S de Cuba oriental, presentando una dirección predominante de E a W y constituye el límite entre las placas de Norteamérica a la que pertenece Cuba y la microplaca del Gonave a la que pertenece la fosa de Bartlett y la isla La Española.

Constituye además un límite de morfoestructuras del sistema tectónico global y presenta un contraste topográfico muy significativo (+8 000 m) entre los megabloques de la cresta y la fosa Bartlett-Caimán. A esta se asocia la más alta sismicidad de todo el territorio cubano, incluyendo los terremotos de mayor intensidad conocidos hasta entonces a partir del siglo XVI.

En particular, de los 28 sismos catastróficos conocidos con epicentros en el archipiélago cubano, 22 se han producido en Moa; de estos, 20 cercanos a Santiago de Cuba y dos a Cabo Cruz - Pílon. De los señalados en Santiago de Cuba, los de 1766 (M = 7,6) y de 1852 (M = 7,3) produjeron IX grados de intensidad en la ciudad del mismo nombre. De los reportados en la zona de Cabo Cruz - Pílon, el mayor ocurrió el 25 de mayo de 1992 (M = 7,0) produciendo intensidades de VII grados MSK en esa localidad. En los últimos 15 años se han registrado instrumentalmente más de 3 000 terremotos débiles y moderados. La alta actividad tectónica del territorio también se manifiesta en los altos gradientes de las velocidades de los movimientos neotectónicos, especialmente en la región de la Sierra Maestra. La magnitud máxima estimada que puede esperarse para la zona es de 8,0 Richter (Comisión Ad Hoc, 1991).

En la determinación de los parámetros de cálculo para el Terremoto Máximo de Cálculo (TMC) y el Terremoto de Proyecto (TP); para todas las zonas se utilizó en el TMC un período de recurrencia (Tr) de 1 000 años, tiempo de vida útil (Tu) de 50 años y probabilidad de no excedencia (p) del 85 %; en el TP un Tr de 100 años, Tu de 50 años y una p del 61 %. La zona sismo generadora Oriente 1 tiene para el TMC, una magnitud de 7,5 y para el TP una magnitud de 6,9.

En la siguiente tabla, se presentan los cálculos a partir de relaciones empíricas de las aceleraciones, velocidades, el tiempo en que aparecen los picos y los espectros de respuestas (aceleraciones) para los TMC y el TP para la ciudad Guantánamo, dando como resultado que para los terremotos con epicentros en la zona sismo generadora Oriente 1 aparecen los mayores efectos. Se presentan además, las relaciones empíricas utilizadas y las referencias de los autores.

Tabla 1 Valores de aceleración (cm/s²), velocidad (cm/s) y desplazamiento (cm) calculadas por diferentes relaciones para Guantánamo de los TMC y TP.

Sismo	Zonas	R*	M*	I*	1			2		3	4
					a*	v*	s*	a*	v*	a*	a*
TMC	Oriente 1	59,0	7,5	8,5	317,4	46,3	24,6	232,6	46,8	161,7	283,4
	Oriente 3	58,0	6,2	7,0	83,2	8,6	19,4	79,6	9,6	70,2	74,2
	Baconao 1	37,2	5,2	7,0	60,2	5,2	12,1	61,1	5,3	62,3	53,8
	Santiago - Moa	34,0	3,7	6,0	19,7	1,4	10,5	25,1	1,4	31,5	17,6
TMC	Purial	40,9	5,2	6,5	59,8	4,7	13,2	56,6	4,9	57,8	49,0

TP	Oriente 1	59,0	6,9	8	142,7	17,0	21,0	122,6	18,2	96,1	127,4
	Oriente 3	58,0	4,6	6,0	23,1	1,7	18,0	28,6	2,1	31,6	20,6
	Baconao 1	37,2	5,0	7,0	51,3	4,2	11,9	53,7	4,4	56,4	45,8
	Santiago - Moa	34,0	2,0	4,0	5,1	0,3	10,3	8,4	0,3	13,5	4,5
	Purial	40,9	5,0	6,0	46,7	3,8	13,1	49,8	4,1	52,3	41,7

Nota (*): **R**_ Distancia en km; **M**_ magnitud Richter; **I**_ intensidad en MSK; **a** en cm/s²; **v** en cm/s y **s** en cm.

Fuente: datos tomados del estudio microzonación sísmica de la ciudad Guantánamo y sus alrededores.

En la tabla 2, aparecen los valores picos (máximos en % g) de los acelerogramas para los suelos S1, S2, y S3 de los componentes horizontal y vertical. Las amplitudes picos aparecen a partir de los 21,0 hasta los 30,9 s. La duración de las mismas están centradas en los valores picos. En la tabla 3 y 4, se presentan los valores máximos (expresados en % g) para el TMC y el TP respectivamente, de los espectros de respuesta con amortiguación de 2, 5 y 10 % para la zona sismo generadora Oriente 1.

Tabla 2 Aceleraciones, velocidades e intensidades máximas y efectivas de los estremecimientos principales en las componentes horizontal (H) y vertical (V) generados por la zona Oriente 1.

Suelo	A _{máx}	V _{máx}	t _{máx}	I	A _{efect}	V _{efect}	I
S3 – S4 H	0,460	56,12	30,90	9,0	0,241	29,38	8,0
S3 – S4 V	0,232	28,24	30,90	8,0	0,122	14,82	7,0
S2 H	0,337	30,80	30,90	8,0	0,187	17,08	7,0
S2 V	0,184	16,85	21,00	7,0	0,117	10,67	7,0
S1 H	0,277	16,90	21,10	8,0	0,180	10,95	7,0
S1 V	0,174	10,59	21,00	7,0	0,115	7,02	7,0

Fuente: datos tomados del estudio Microzonación sísmica de la ciudad de Guantánamo.

Tabla 3 Valores máximos de los espectros de respuesta de aceleraciones para la ciudad de Guantánamo con amortiguación de 2, 5 y 10 %, para el TMC de la zona Oriente 1.

Suelo	A _{mort}	A _{máx}	T	Suelo	A _{mort}	A _{máx}	T	Suelo	A _{mort}	A _{máx}	T
S3 – S4 H	2	0,533	0,25	S2 V	2	0,231	0,25	S1 H	2	0,403	0,20
	5	0,493	0,25		5	0,216	0,25		5	0,371	0,20
S3 – S4 H	10	0,459	0,25		10	0,201	0,25		10	0,354	0,20
S3 – S4 V	2	0,372	0,25	S2 H	2	0,435	0,25	S1 V	2	0,197	0,10
	5	0,300	0,25		5	0,405	0,25		5	0,182	0,08
	10	0,271	0,25		10	0,381	0,25		10	0,172	0,08

Fuente: datos tomados del estudio Microzonación sísmica de la ciudad Guantánamo y sus alrededores.

Tabla 4 Valores máximos de los espectros de respuesta de aceleraciones para la ciudad de Guantánamo con amortiguación de 2, 5 y 10 %, para el TP de la zona Oriente 1.

Suelo	A _{mort}	A _{máx}	T	Suelo	A _{mort}	A _{máx}	T	Suelo	A _{mort}	A _{máx}	T
S3 – S4 H	2	0,309	0,25	S2 V	2	0,138	0,25	S1 H	2	0,246	0,20
	5	0,286	0,25		5	0,130	0,25		5	0,227	0,20
	10	0,266	0,25		10	0,123	0,25		10	0,217	0,20
S3 – S4 V	2	0,293	0,25	S2 H	2	0,264	0,25	S1 V	2	0,129	0,10
	5	0,197	0,25		5	0,247	0,25		5	0,119	0,08
	10	0,166	0,25		10	0,233	0,25		10	0,112	0,08

Fuente: datos tomados del estudio Microzonación sísmica de la ciudad de Guantánamo y sus alrededores.

Peligrosidad sísmica de la ciudad Guantánamo: utilizando el nivel actual de conocimiento que se tiene de las Zonas Sismogénicas de Cuba y sus niveles de actividad sísmica específica, se adquieren estimados de peligrosidad en términos de intensidad y otros parámetros dinámicos, tales como la aceleración horizontal, tanto en forma probabilística, determinística. Esta última, se refleja en los periodos de recurrencia, donde los valores de intensidad sísmica puedan repetirse cada cierto número de años.

Según el mapa de zonificación sísmica, Guantánamo se encuentra situado en la zona sísmica 2A, de riesgo sísmico moderado, donde puede ocasionar daños en las construcciones debiéndose tomar medidas sismorresistentes en todas las estructuras y obras en función de la importancia de las mismas. Los valores de la aceleración horizontal máxima del terreno (A) para el cálculo será de 0,15 g (147,0 cm/s²).

El peligro en términos de intensidad sísmica es del orden de los 7,0 - 8,0 grados MSK, para el municipio Guantánamo (8,0) en toda su extensión. Para el caso de las aceleraciones horizontales los valores regionales están entre 20 y 30 % de la fuerza de gravedad. Los valores de intensidad (MSK) y aceleración horizontal (% de g) son los máximos. Los estimados cartografiados se realizaron para perfiles de suelo medio tipo S2, una probabilidad de ocurrencia del 15 % y un período de vida útil de 50 años.

Según lo evaluado anteriormente, se concluye que el efecto sísmico que se puede producir en el área donde está ubicada la instalación en estudio, siempre será mayor cuando el evento sísmico suceda en la ZS Oriente 1, independientemente de la distancia desde cada localidad hasta la zona activa de que se trata. Para las restantes ZS, el efecto esperado será menor, a pesar de cuan cerca estén estos puntos de ella. La causa fundamental puede ser atribuida a la magnitud con que se espera que se produzcan los eventos sísmicos en la zona.

Según la NC 46:1999 la instalación de referencia está enclavada en un suelo (S2), presente en la descripción de la norma para construcciones sismorresistentes, confiriéndole a este suelo un valor de aceleración del terreno de 0,15 g.

Al tomar en cuenta la alta actividad sísmica de la región (solo en los últimos 10 años se han registrado más de 20 000 eventos sísmicos, de ellos la mayoría ocurridos en la falla Oriente, se evalúa el peligro sísmico como **alto**.

Eventos geólogo - geomorfológicos de manifestación progresiva

Evaluación de la peligrosidad por procesos erosivos: el Parque Solar Fotovoltaico “Santa Teresa”, se encuentra situado en una zona llana, donde las formas del relieve originales fueron transformadas por la actividad del hombre, la acción de procesos exogenéticos dentro de ellos los antropogenéticos, mediante la instalación de los paneles solares para el desarrollo energético de la ciudad Guantánamo.

Los suelos son ligeramente adhesivos, plásticos, firmes y compactos, observándose grietas por la poca humedad y deshidratación que presentan, lo que constituye este un signo evidente de erosión. Según la norma cubana NC 36: 1999 Calidad del suelo. (Método para la determinación de la erosión potencial de los suelos), se evalúan diferentes factores como el clima, relieve y tipo de suelo, describiéndose a continuación:

Clima: una peculiaridad determinante del clima de Cuba, es la relativa constancia del régimen de temperatura, con la marcada variación de las precipitaciones, las cuales ejercen una fuerte influencia en los demás factores naturales, en dependencia de la cantidad e intensidad de las lluvias (con el resto de las condiciones constantes). En las pendientes se forman las escorrentías con diferentes grados de intensidad, destruyendo en una u otra medida, los horizontes de los suelos; de ahí que las precipitaciones constituyen una de las principales causas que provocan la erosión de los suelos.

Para valorar la influencia de las precipitaciones en la erosión potencial de los suelos, se escogió el índice Lai , el cual es elaborado para condiciones tropicales y se calcula por la siguiente fórmula: $Lai_{máx} = 12 (n * a * i_{máx})$ Donde: a: cantidad de precipitaciones en una lluvia. $i_{máx}$: intensidad máxima de la lluvia. n: número de días con precipitaciones en cada mes.

Al tener en cuenta la fórmula y los datos sobre precipitaciones según la base de datos del Centro Meteorológico Provincial, se calcularon los índices erosivos por la influencia de las lluvias para todas las regiones del país (coeficiente I_p), el cual se expresa con una serie de valores desde 24 en la región de Guantánamo, hasta 106 en las regiones montañosas de Occidente.

Suelo: en el proceso de mapificación de los suelos con erosión potencial, estos se valoran conjuntamente con la roca madre y se procede a calcular el coeficiente SR a través de la fórmula: $SR = \frac{P_{sp}}{P}$ Donde: SR: índice de la influencia del suelo y roca. P_{sp} : pérdidas de los suelos en condiciones de patrón. P: índice de la influencia de las precipitaciones.

De igual forma se utilizan coeficientes para determinar el grado de erosión potencial.

Relieve: la influencia del relieve sobre la erosión potencial de los suelos se determinó con un parámetro morfométrico. La inclinación de la pendiente se caracteriza por el coeficiente R y expresa la relación entre las pérdidas de los suelos en condiciones de patrón de acuerdo a la

siguiente fórmula: $R = \frac{P_s}{P_t}$ Donde: R: factor de relieve. P_s : pérdida de los suelos según el relieve. P_t : patrón.

La valoración conjunta por la influencia de los factores naturales sobre la erosión potencial de los suelos se establece por medio de la multiplicación de coeficientes particulares que caracterizan a cada uno de los factores naturales: $E_p = SR \times R \times I_p$

Para el caso específico del área donde está enclavado el objeto en estudio, el índice *Lai* arrojó un valor entre 5 – 10 mm, observándose durante el recorrido al campo la presencia de suelos pardos con carbonatos, con un 0,8 % de pendiente en el terreno, concediéndole una baja erosión superficial; no obstante se deben de tener en cuenta medidas antierosivas previniendo la erosión a largo plazo. Por lo antes planteado se le confiere una categoría **muy baja** ante el evento analizado.

Conclusiones.

Los peligros que pueden afectar a la instalación Parque Solar Fotovoltaico “Santa Teresa” pueden ser: Meteorológicos: fuertes vientos asociados a ciclones tropicales, fuertes vientos no asociados a ciclones tropicales, tormentas eléctricas y Geológicos: procesos de manifestación súbita (Sismos), procesos de manifestación progresiva (erosivos).

Bibliografía.

- Aguiar R., Falconi, D. (2008). *Evaluación rápida de la vulnerabilidad sísmica en edificios de hormigón armado*. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, Valle de los Chillos. Ecuador.
- Colectivo de autores. (2012). *Principales medidas para la protección de la población y la economía para situaciones de desastres*. La Habana. Cuba.
- Cox A., Krug, W., Buck, H. (2001). *Prácticas introductorias a las energías renovables. Energía fotovoltaica*, 43.
- Chuy Rodríguez, Tomás J., Despaigne Longchamp, Griselda. (2005). *Caracterización del Riesgo sísmico de la ciudad de Guantánamo*. Santiago de Cuba, 34.
- Empresa GEOCUBA Oriente – Sur. (2005). PG 22 - 3. Sistema de gestión de la calidad. Redacción y presentación de resultados. Santiago de Cuba, 12.
- Empresa GEOCUBA Oriente – Sur. (2005). PG 22 – 4. Sistema de gestión de la calidad. Estudio de peligros originados por fenómenos naturales. Santiago de Cuba, 19.
- Empresa GEOCUBA Oriente – Sur. (2005). PG 22 – 5. Sistema de gestión de la calidad. Estudio de vulnerabilidad física en obras de arquitectura de hormigón armado ante la acción de huracanes, fuertes vientos y sismos. Santiago de Cuba, 23.
- Empresa GEOCUBA Oriente – Sur. (2010). PG 22 – 20. Sistema de gestión de la calidad. Estimación cualitativa de la vulnerabilidad en edificaciones ante la acción de huracanes y fuertes vientos. Santiago de Cuba. Cuba, 9.
- Empresa GEOCUBA Oriente – Sur. (2005). PG 22 - 6. Sistema de gestión de la calidad. Evaluación de riesgos. Santiago de Cuba. Cuba, 9.
- Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil. Consejo de Defensa Nacional. (2010). Directiva No. 1 del Vicepresidente del Consejo de Defensa Nacional, para la Reducción de Desastres. Ciudad de La Habana. Cuba.
- Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil. (2013). Guía para evaluar el nivel de Reducción de la vulnerabilidad y el riesgo en los organismos, entidades y territorios.

Fecha de recibido: 27 ene. 2015

Fecha de aprobado: 15 mar. 2015