



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA de
TAMAULIPAS

Secretaría
Técnica



Centro de Investigación
y Desarrollo en Ingeniería
Portuaria, Marítima y Costera

EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE EÓLICO EN EL FRENTE COSTERO DEL SUR DE TAMAULIPAS.

P.I. Armando Torres Villegas 1

Dr. Sergio B. Jiménez Hernández 1

Dr. Gabriel Arcos Espinoza 1

Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Portuaria, Marítima y Costera.

Secretaría Técnica Universidad Autónoma de Tamaulipas.

833-334-20-88

e-mail: armando_torresv@hotmail.com

RESUMEN

¿Por qué es importante el estudio?

En la Playa Miramar, ubicada en la costa sur del estado de Tamaulipas, el transporte eólico resulta ser un serio problema de acumulación de sedimentos, sobre la infraestructura turística, vial y comercial del sitio, esto con un alto costo de mantenimiento. La falta de estudio en la zona ha motivado el presente estudio.

Se evaluó el volumen del transporte eólico en la costa sur del estado de Tamaulipas, mediante trampas de arena eólicas verticales. Estas fueron colocadas en forma vertical sobre la superficie de la arena, para atrapar el sedimento que pasa por una sección determinada. La trampa consta de 13 orificios donde cada uno de estos tiene un almacenamiento, para posteriormente analizar los volúmenes capturados. El patrón de vientos asociados a la región se caracteriza con los datos obtenidos de la estación meteorológica automatizada (Fuente: Servicio meteorológico Nacional).

El resultado del trabajo indica que el volumen de transporte eólico en promedio es de: 2229 m³/m• año, según las fórmulas utilizadas para el cálculo del transporte de sedimentos (Bagnold, Kawamura, Zingg y Hsu).



La GENERACIÓN del
CONOCIMIENTO
con VALORES

Centro Universitario Tampico - Madero
Tampico, Tamaulipas, México. C. P. 89109
Teléfono directo (833) 241 20 51
Conmutador (833) 241 20 00
Extensión. 3391, 3399



INTRODUCCIÓN

El transporte eólico de sedimentos en zonas de playa es un agente importante en la generación y expansión de dunas, principalmente. Cuando se construye infraestructura urbana, portuaria y/o turística en estas regiones, el patrón dinámico del transporte eólico (y en general el transporte litoral) se altera y es necesario intervenir para estabilizarlo y evitar que se ponga en riesgo la estabilidad de las dunas y/o ponga en riesgo las obras realizadas, con un fin de aprovechamiento de la zona.

En la Playa Miramar, ubicada en la costa sur del estado de Tamaulipas, el transporte eólico resulta ser un serio problema de acumulación de sedimentos, sobre la infraestructura turística, vial y comercial del sitio, esto con un alto costo de mantenimiento.

Con el objetivo de evaluar el volumen del transporte eólico en la costa sur del estado de Tamaulipas, se utilizaron trampas de arena eólicas verticales. Las trampas de arena son usualmente empleadas para conocer el cambio del transporte eólico. Se utilizaron las trampas de arena eólicas verticales propuestas por Ishihara y Iwagaki. Dichas trampas constan de 13 orificios donde cada uno de estos tiene un almacenamiento, para posteriormente analizar los volúmenes capturados.

Se visitó el frente playero API Altamira, donde se instalaron dichas trampas. Posteriormente se procedió a retirar las trampas y sus trece secciones, cada sección presentó un almacenamiento. Se enumeraron dichas secciones para su análisis de arriba hacia abajo. En base a esto se estimaron los volúmenes atrapados en cada uno de los compartimientos, para posteriormente realizar su análisis de granulometría y densidad.

Se usaron los datos de la estación meteorológica automatizada, en un periodo de 24 horas durante la campaña, dichos datos comprendieron intervalos de 10 minutos. Se registró la temperatura y velocidad del viento.

En base a estos datos obtenidos y aplicando las ecuaciones para el cálculo del transporte de sedimentos de Bagnold, Kawamura, Zingg y Hsu, se calculó el transporte promedio con base en las cuatro formulas aplicadas, evaluando así el transporte promedio de sedimentos.

CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO

Las diferencias de densidad y presiones del aire de un sitio a otro, los cambios por diferencias de temperatura en forma desigual en la superficie de la tierra generan zonas de alta y baja presión, estos originan movimientos convectivos e inducen al movimiento de masas de aire, y esto produce el movimiento del viento. La velocidad, la dirección y los efectos que causa el viento sirven de base para su definición y clasificación. El viento es aire en movimiento y su capacidad erosiva va a depender de su velocidad y de las partículas que pueda transportar. Algunas de las acciones erosivas son la corrosión o desgaste que produce el choque de las partículas empujadas por el viento. Ejemplos de transporte y sedimentación eólicos son las tormentas de arena y las dunas.

La formación y las características del viento va a depender del balance de las fuerzas debidas a la aceleración de las masas de aire, de las inerciales (coriolis y centrífuga) y de las friccionales (la rugosidad de la superficie).

De acuerdo al balance de las fuerzas con la altura se pueden reconocer tres regiones en el perfil vertical de la velocidad del viento, tal y como se aprecia en la figura 1.



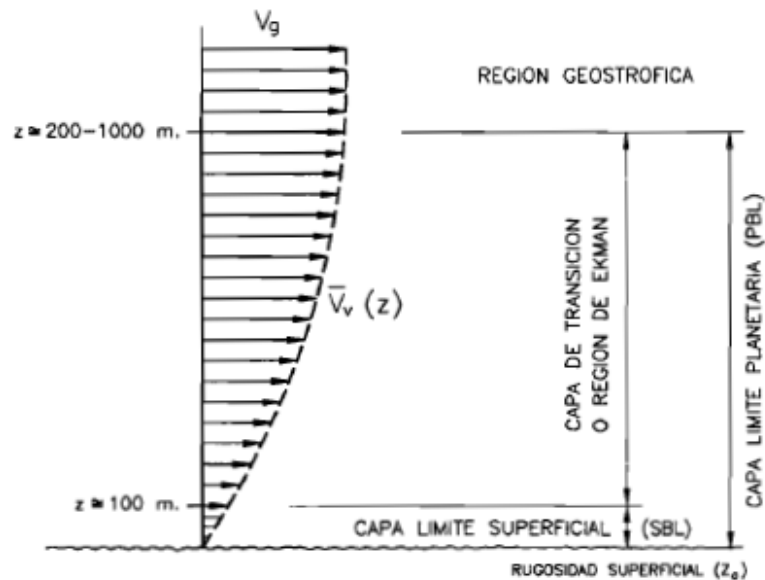


Figura 1.- Perfil vertical de la velocidad del viento

La atmósfera libre o región geostrofica se encuentra de los 200 a 1000 m sobre la superficie.

La capa límite planetaria está formada por dos capas: la capa de transición o región de Ekman (de 100 a 200 o 1000 m.) y la capa límite superficial (de 0 a 100m).

MODOS DE TRANSPORTE EÓLICO

El aire en movimiento, es capaz de elevar sedimentos sueltos y transportarlos a otros lugares. El transporte de sedimentos por el viento es realizado por: rodadura, reptación, deslizamiento, saltación y suspensión.

Los granos gruesos son transportados por rodadura, reptación y deslizamiento. Los granos de tamaño medio son transportados por saltación y los granos finos por suspensión. (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Tabla 1 Modos de transporte eólico.

MATERIAL	TAMAÑO (μm)	MODO DE TRANSPORTE EÓLICO
Polvo	< 60- 70	Suspensión
Arena fina	60 - 500	Saltación y reptación
media		
Arena gruesa	> 500	Deslizamiento

CONTROLES EN LAS TASAS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Las expresiones del transporte eólico presentadas en la Tabla 2 corresponden al caso de lechos horizontales de arena, no cementada, bien clasificada y seca. Al igual que ocurría con u_*^* , la tasa de transporte también se ve modificada por estos factores. Su influencia es analizada en los siguientes apartados.

Tabla 2 Ecuaciones para el cálculo del transporte de sedimentos.

AUTOR	FORMULACIÓN	DESCRIPCIÓN
<u>Bagnold</u> (1941)	$q = C \cdot \sqrt{\frac{d}{D}} \cdot \frac{\rho_a}{g} \cdot u_*^3 \quad g/s/cm$	d = tamaño medio de la arena en mm $D = 0.25$ mm $C = 1.5$ para arenas uniformes, 1.8 para arenas de dunas naturales, 2.8 para arenas mal clasificadas y 3.5 para gravas.
<u>Kawamura</u> (1951)	$q = K \cdot \frac{\rho_a}{g} (u_* + u_{*t})^2 (u_* - u_{*t}) \quad g/s/cm$	$K = 2.78$ para arena moderadamente bien clasificadas con $d = 0.25$ mm
<u>Zingg</u> (1952) (modificado de Bagnold)	$q = C \cdot \left[\frac{d}{D} \right]^{3/4} \cdot \frac{\rho_a}{g} \cdot u_*^3 \quad g/s/cm$	$C = 4.2$, n varías de 0.5 a 0.75
<u>Hsu</u> (1974)	$q = H \left[\frac{u_*}{\sqrt{g \cdot d}} \right]^3 \quad g/s/cm$	$H = (-0.42 + 4.91 \cdot d) \cdot 10^{-4}$

MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL TRANPORTE EÓLICO

Las mediciones de campo son muy necesarias para conocer el tamaño de la arena que es movida por el viento, esto se llevó a cabo por medio de trampas de arena. Las trampas de arena ayudará a conocer el tamaño de grano que se transporta por saltación y suspensión, y así como a definir la densidad, los cuales son valores necesarios para calcular el transporte eólico.

TRAMPAS DE ARENA EÓLICAS VERTICALES

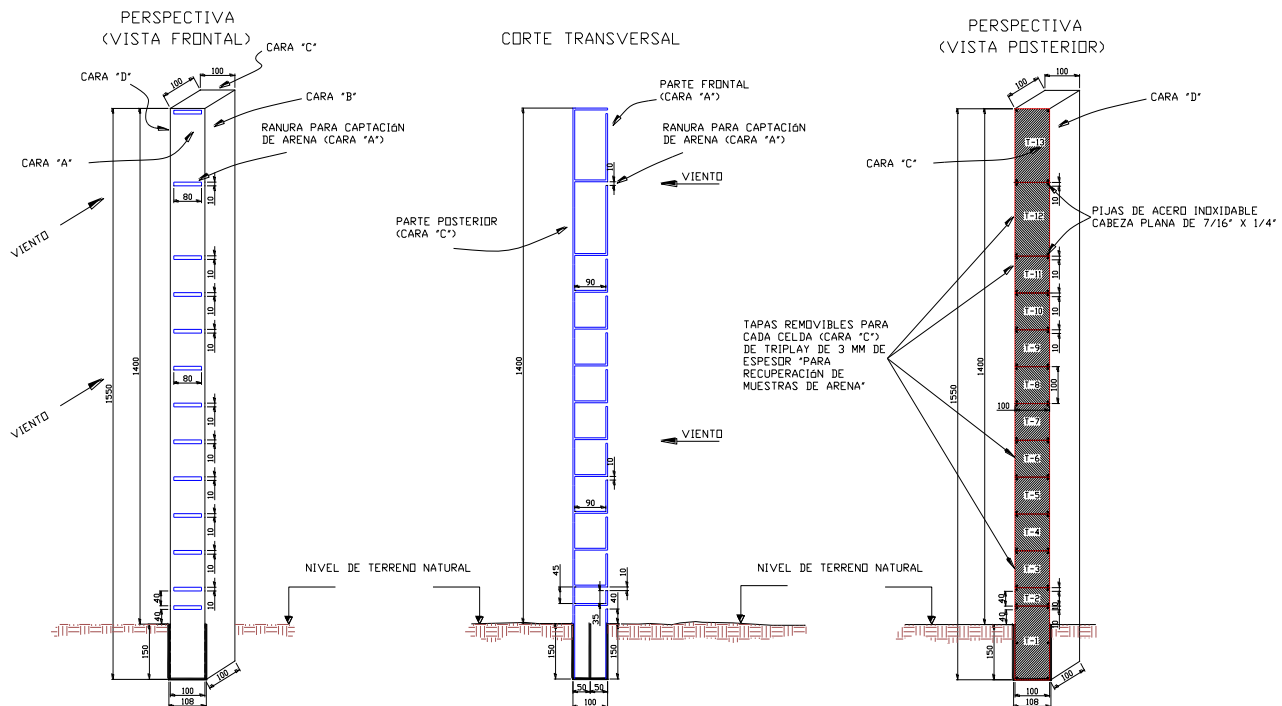
Las trampas de arena son usualmente empleadas para conocer el cambio del transporte eólico. Han sido también empleados aparatos de luz sensible, para medir el transporte por medio del reflejo o la sombra, sin embargo los resultados no han sido exitosos. Existen dos tipos de trampas: trampas verticales, las cuales son colocadas en forma vertical sobre la superficie de la arena para atrapar la arena que pasa por una sección; trampas horizontales las cuales son enterradas con la abertura hacia arriba para que atrapen la arena que cae en ella.

Hay varios tipos de trampas verticales como son: rectas, cilíndricas, en forma de V, etc. Algunas de estas trampas verticales se describen a continuación

TRAMPA VERTICAL DE ISHIHARA E IWAGAKI (1952)

En 1952, Ishihara y Iwagaki diseñaron dos tipos de trampas verticales, la primera consta de 8 entradas y la segunda de 12 entradas, las cuales permiten capturar la arena que se mueve por saltación y suspensión, y estos diseños se presentan en la figura 2

Figura 2 Diseño de la trampa de arena





RESULTADOS

Se visitó el frente playero API Altamira, el día 3 de Marzo del 2012. Esto con el fin de reconocer el área de estudio, en busca de la mejor opción para la instalación de trampas de arena. Se procedió a instalar dicha trampa. Posteriormente se asistió para retirar dicha trampa, esto con fecha del 5 Marzo del 2012. Cabe mencionar que el terreno presentaba marcados ripples, perpendiculares a la orientación de la trampa instalada; esto demuestra que la orientación fue la correcta para recibir directamente al viento y el sedimento.

Archivo fotográfico:



Datos de la estación meteorológica automatizada

(Fuente: Servicio meteorológico Nacional)

Operada por: OCGN

Longitud: 97° 50' 39" Latitud: 22° 17' 02"

Se usaron los datos de la estación meteorológica, en un periodo de 24 horas, el cual comprendió del 3 de marzo del 2012 al 4 de marzo del 2012. Dichos datos comprendieron intervalos de 10 minutos. Se registró la temperatura y velocidad del viento. Con esto se estimaron los valores promedio, los cuales aparecen en la tabla 3.

Tabla 3. Valores promedio de la estación meteorológica.

	Viento Km/hra.	Ráfagas Km/hra.
Velocidad máxima	36.2	62.8
Velocidad media	19.152	33.968



Resultados de laboratorio

Los resultados de laboratorio se muestran en el anexo electrónico y en papel y estos fueron realizados en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería.

La trampa tiene 13 orificios donde cada uno de estos tiene un almacenamiento, se han enumerado para su análisis de arriba hacia abajo. En esta campaña se muestran los volúmenes atrapados (ver tabla 4) en cada uno de estos compartimentos y su análisis de granulometría y densidad se presentan a continuación.



Tabla 4 Resultados de las muestras obtenidas por compartimiento.

Muestra	Peso de la muestra (gr)
1c	-
2c	-
3c	0.78
4c	1.40
5c	2.54
6c	7.75
7c	19.39
8c	56.58
9c	133.98
10c	351.66
11c	357.37
12c	596.01
13c	1536.38
13c'	1395.87

Calculo de transporte eólico para las muestras del día 03 de marzo del 2012

Tamaño medio (D_{50})= 0.7 mm

Velocidad media= 19.152 m/s

Velocidad de fricción crítica Bagnold (1941):

$$U_{*c} = Ac \sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_a)gD_{50}}{\rho_a}}$$

Donde:

U_{*c} = velocidad de fricción crítica cm/s

$Ac = 0.0118$

$\rho_s = 2.66 \text{ gr/cm}^3$

$\rho_a = 0.0012 \text{ gr/cm}^3$

$g = 980 \text{ cm/s}^2$

$D_{50} = 0.07 \text{ cm}$

Aplicada a las muestras del día 24 de febrero de 2012

Donde:

U_{*c} = velocidad de fricción crítica cm/s

$Ac = 0.0118$

$\rho_s = 2.66 \text{ gr/cm}^3$

$\rho_a = 0.0012 \text{ gr/cm}^3$

$g = 980 \text{ cm/s}^2$

$D_{50} = 0.07 \text{ cm}$





$$U_*c = 0.118 \sqrt{\frac{(2.66 - 0.0012)(980)(0.05)}{0.0012}}$$

$$U_*c = 46.004 \text{ cm/s}$$

Velocidad critica del viento a 2 m (Hsu 1977):

$$U_*c = 0.044 U_c(2)$$

Donde:

U_*c = velocidad de fricción m/s

$U_c(2)$ = velocidad a 2 m

$$38.881 = 0.044 U_c(2)$$

$$\therefore U_c(2) = 105.54 \text{ cm/s} = 10.45 \text{ m/s}$$

Velocidad critica del viento a 10 m de altura mediante la ley de distribución de velocidades

$$U_*c = \frac{k(U_c(z_2) - U_c(z_1))}{\ln \frac{z_2}{z_1}}$$

Donde:

$k = 0.41$ constante

z_1 = Altura 1 = 2m

z_2 = Altura 2 = 10 m

$U_c(z_1)$ = Velocidad en z_1 en cm/s = 1045.54 m/s

$U_c(z_2)$ = Velocidad en z_2 = $U_c(10)$

$$46.004 = \frac{0.41(U_c(10) - 1045.54)}{\ln \frac{10}{2}}$$

$$74.041 = 0.41U_c(10) - 428.67$$

$$U_c(10) = 12.26 \text{ m/s}$$

Sustituyendo en la fórmula de Hsu (1986)

$$q = k \left[\frac{U_*}{\sqrt{gD_{50}}} \right]^3$$

Donde:

q = Transporte eólico

$$k = e^{(-9.63+4.91)(0.325)}$$

$$g = 980 \frac{m}{s}$$

$$D_{50} = 0.07 \text{ cm}$$

Sustituyendo:

$$q = 7.6 \times 10^{-4} \left[\frac{U_*}{\sqrt{980 * 0.07}} \right]^3$$

$$q = 2.2317 \times 10^{-6} U_*^3$$

$$U_*c = \frac{k(U_c(z_2) - U_c(z_1))}{\ln \frac{z_2}{z_1}} = U_*c = \frac{0.41(U_c(10) - U_c(2))}{\ln(5)}$$





$$U_*c = \frac{0.41(U_c(10))^{2.73} - 22.73U_*}{\ln(5)}$$

$$1.6094 U_* = 0.41 U (10) - 22.73 U_*$$

$$10.9287U_* = 0.041 U(10)$$

$$U_* = 0.0375 U(10)$$

$$\therefore q = 1.8992 \times 10^{-10} U(10)^3 \text{ gr/cm} \cdot \text{s}$$

Y, sustituyendo la velocidad media medida de 19.152 m/s = 1915.2 cm/s

Transporte eolico:

$$q = 1.3341 \text{ gr/cm} \cdot \text{s}$$

Transformado a volumen de arena:

$$q_v = \frac{q}{\rho_s (1 - P)}$$

Donde:

q = Transporte eolico

ρ_s = Densidad del sedimento

P = porosidad: 0.04

Sustituyendo:

$$q_v = \frac{1.3341}{2.66 (1 - 0.4)}$$

Volumen de arena transportado

$$q_v = 0.8359 \text{ cm}^3/\text{cm} \cdot \text{s} = 2636.2449 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{año}$$

Aplicando la formula de Bagnold (1941)

$$q = B \frac{\rho_a}{g} \sqrt{\frac{D_{50}}{d}} u^*$$

Donde:

q = transporte de g/cm.s

B = Coeficiente adimensional = 1.5

ρ_a = Densidad del aire.

g = Gravedad.

D_{50} = 0.7 mm

d = tamaño de grano en mm.

U^* = velocidad cortante en cm/s

$$q = 1.5 \frac{0.0012}{980} \sqrt{\frac{0.7}{0.25}} * 71.85 = 1.1400 \text{ gr/cm} \cdot \text{s}$$

$$U_* = 68.0385$$

$$B = 1.5$$

$$\rho_s = 2.66 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_a = 0.0012 \text{ gr/cm}^3$$

$$g = 980 \text{ cm/s}^2$$





$$D_{50} = 0.7 \text{ cm}$$

$$d = .25$$

$$q_v = \frac{q}{\rho_s (1 - P)} = 0.7142 \text{ cm}^3/\text{cm} \cdot \text{s} = 2252.5949 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{año}$$

Aplicando la formula de Zingg (1953)

$$q = Z \frac{\rho_a}{g} \left(\frac{D_{50}}{d} \right)^{3/4} U_*^3$$

Donde:

q = transporte de $g/\text{cm} \cdot \text{s}$

B = Coeficiente adimensional = .83

ρ_a = Densidad del aire.

g = Gravedad.

D_{50} = 0.7 mm

d = tamaño de grano en mm.

U_* = velocidad cortante en cm/s

$$q = 0.83 \frac{0.0012}{980} \left(\frac{0.7}{0.25} \right)^{3/4} * 370923.147 = 0.8159 \text{ gr/cm} \cdot \text{s}$$

$$U_* = 68.0385$$

$$B = 1.5$$

$$\rho_s = 2.66 \text{ gr/cm}^3$$

$$\rho_a = 0.0012 \text{ gr/cm}^3$$

$$g = 980 \text{ cm/s}^2$$

$$D_{50} = 0.7 \text{ cm}$$

$$d = .25$$

$$q_v = \frac{q}{\rho_s (1 - P)} = 0.5112 \text{ cm}^3/\text{cm} \cdot \text{año} = 1612.3504 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{año}$$

Aplicando la formula de Kawamura (1951)

$$q = K_w \frac{\rho_a}{g} (U_* + U_{*c})^2 (U_* - U_{*c})$$

Donde:

q = transporte de $g/\text{cm} \cdot \text{s}$

K_w = Coeficiente adimensional =

ρ_a = Densidad del aire.

g = Gravedad.





U^* = velocidad crítica en $cm \cdot s$

U^*c = Velocidad crítica de fricción $cm \cdot s$

$$q = 2.78 \left(\frac{2.66}{980} \right) * (71.8501 + 46.0040)^2 * (71.8501 - 46.0040) = 1.2220 \text{ gr/cm} \cdot s$$

q = transporte de $g/cm \cdot s$

$K_w = 2.78$

$\rho_a = 2.66$

$g = 980 \text{ cm/s}$

$U^* = 68.0385 \text{ cm} \cdot s$

$U^*c = 38.8805 \text{ cm} \cdot s$

$$q_v = \frac{q}{\rho_s (1 - P)} = 0.7656 \text{ cm}^3/\text{cm} \cdot s = 2414.6813 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{año}$$

Transporte promedio con base en las cuatro formulas aplicadas

$$\text{transporte promedio} = 2228.9679 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{año}$$

CONCLUSIONES

El transporte eólico evaluado en la zona de estudio del frente costero del sur de Tamaulipas, en base a los datos obtenidos y aplicando las ecuaciones para el cálculo del transporte de sedimentos de Bagnold, Kawamura, Zingg y Hsu, se calculó el transporte promedio con base en las cuatro formulas aplicadas, resultándonos un transporte promedio de sedimentos de $2228.9679 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{año}$.

