

Técnicas geomáticas aplicadas al deslizamiento de la ensenada de Erillo y a los cambios de la línea de costa de la playa de La Salvé (Laredo, Cantabria) durante el periodo 1953-2016.

Geomatic techniques applied to the Erillo cove slide and coastline changes in La Salvé beach (Laredo, Cantabria) during the period 1953-2016.

J. J. de Sanjosé¹, E. Serrano², M. Sánchez¹, M. Gómez², A. D. J. Atkinson¹ y R. M. Pérez¹

1. Grupo de investigación NEXUS. Universidad de Extremadura. Escuela Politécnica. Avda. de la Universidad s/n. 10003 Cáceres. jjblasco@unex.es

2. Grupo de investigación PANGEA. Universidad de Valladolid. Facultad de Filosofía y Letras. Avda. Prado de la Magdalena s/n. 47011 Valladolid.

Resumen: La ensenada de Erillo (43° 24' 54" N / 3° 23' 05" O) ubicada a 1500 metros al este de la villa de Laredo y la playa de La Salvé (43° 25' 00" N / 3° 26' 15" O) situada al oeste de la villa de Laredo, están siendo estudiadas mediante el uso de técnicas geomáticas (1953-2016):

- Fotogrametría aérea: Restituciones de vuelos fotogramétricos de los años: 1953, 1970, 1985, 1988, 2001, 2005, 2007, 2010 y 2014. La cartografía obtenida tiene una escala de 1/2000 (precisión de ± 40 cm) y equidistancia de las curvas de nivel de 1 m.
- Escáner Láser Terrestre (TLS): Escaneo anual (2009-2016) del desplome de una roca de grandes dimensiones (70 metros de altura) exenta del acantilado en la ensenada de Erillo. También se hace uso (dos campañas de campo al año) con TLS, en la punta de la playa de la Salvé (2015-2016) para el análisis del retroceso del frente del talud arenoso. La precisión de las medidas es de ± 2 cm.
- Topografía: Medición anual (2010-2016) en la ensenada de Erillo, con estación total "sin prisma" a distancias entre 250 m y 500 m, sobre esquinas de rocas. La precisión de las medidas es de ± 2 cm.
- Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS): Utilizado para el posicionamiento de las dianas del TLS y el apoyo fotogramétrico. La precisión de las coordenadas en ETRS 89 es de ± 3 cm.

Las mediciones de la ensenada de Erillo permiten conocer la dinámica de las laderas y el equilibrio entre aporte y erosión a la costa, y las mediciones de la playa de Laredo permiten determinar los cambios y el continuo retroceso de la línea de costa. En ambos casos es significativo el movimiento costero, principalmente en la playa de Laredo por la influencia sobre las infraestructuras.

Palabras clave: Playa, ensenada, técnicas geomáticas, dinámica, retroceso de la línea de costa.

Abstract: The Erillo cove (43° 24' 54" N / 3° 23' 05" W) 1500 meters to the east of the town of Laredo and La Salvé beach (43° 25' 00" N / 3° 26' 15" W) to the west of Laredo are subject to study using geomatic techniques (1953-2016):

- Aerial photogrammetry: Restitution of photogrammetric flights from the years 1953, 1970, 1985, 1988, 2001, 2005, 2007, 2010 and 2014. The cartography obtained a scale of 1/2000 (precision ± 40 cm) and 1 m level curves.
- Terrestrial Laser Scanner (TLS): Annual scanner (2009-2016) of the fall of a large rock (70 m height) from the cove of Erillo. Use is also made (two field studies per year) of TLS at the end of the beach La Salvé (2015-2016) to analyze the retreat of the front of the sand bank. The precision of measurements is ± 2 cm.
- Topography: Annual measurement (2010-2016) at the cove of Erillo using "reflectorless" total station at distances between 250 m and 500 m on the edges of rocks. The precision of measurements is ± 2 cm.
- Global Navigation Satellite System (GNSS): Used for the positioning of the targets of the TLS and photogrammetric support. The precision of the coordinates in ETRS 89 is ± 3 cm.

The measurements in the Erillo cove permit to know the slope dynamic and the equilibrium between the sediment transfer and the erosion work by the sea, and in the Laredo beach lets us measure changes and the continuous retreat of the coastline. Both cases the coastal dynamic is significant, mainly in the Laredo beach where erosion processes are disturbing the human infrastructures.

Key words: Beach, cove, geomatic techniques, dynamic, coastline retreat.

MARCO GEOGRÁFICO Y OBJETIVOS

La porción estudiada (Fig. 1) se enmarca en la costa oriental de Cantabria, en un sector definido por la sucesión de acantilados, ensenadas con pequeñas playas y el estuario del río Asón, donde se genera una de las mayores playas de Cantabria (La Salvé, 4 km).

Los vientos predominantes en la zona son del ONO, SSW, N y NE, los de componente N responsables de las direcciones de las corrientes marinas, en general paralelas a la costa, si bien la presencia del tómbolo de Buciero altera las direcciones de oleaje local en la bahía de Laredo y hacia el este.



FIGURA 1. Playa de La Salvé de Laredo y la ensenada de Erillo. Imagen del Servicio de Cartografía de Cantabria (ortofotografía de 2010).

Todo el conjunto forma una costa progradante con niveles de rasas escalonadas y un importante control estructural de la morfología de acantilados y ensenadas (González Amuchastegui et al., 2005). La estratigrafía condiciona el modelado y la dinámica actual, al estar formada por arcillas, yesos y sales de edad Triásica que constituyen la base de la columna estratigráfica, por encima las calizas, dolomías y margas del Jurásico, las areniscas de facies Pürbeck y Weald, de edad Valanginiense-Barremienses, y finalmente, a techo y dominando en los acantilados, las calizas de edad Aptiense de la formación Urgoniense.

El estuario del Asón tiene una extensión de 3500 ha y sale al mar en una estrecha boca de 530 metros entre Santoña y el denominado Puntal de la playa de La Salvé. Constituye una depresión elaborada en las arcillas, yesos y sales de edad Triásica, generada como un valle fluvial hoy inundado. La playa de La Salvé constituye la barra de arena que cierra el estuario del Asón, conformando un sistema de playa y campo dunar generado por los aportes del río y los vientos dominantes de componente NO y SSO. La playa presenta corrientes de deriva que redistribuyen el material desde el puntal hacia Laredo (Martínez Cedrún, 1984), al tiempo que la protección del tómbolo del Monte Buciero frente al oleaje del NO genera corrientes opuestas cuando el oleaje dominante es del N y NE.

En la ensenada de Erillo (Fig. 1), a 1500 metros al este de la playa de La Salvé y separadas por la costa acantilada, la sucesión estratigráfica con la formación Urgoniense yuxtapuesta a las arcillas, sales y yesos del Triásico, ha posibilitado la erosión de los materiales infrayacentes y la génesis de deslizamientos de ladera con los materiales de la formación Urgoniense. El resultado es la presencia de acantilados en las calizas Urgonienses y un deslizamiento traslacional que moviliza bloques de tamaños superiores a 3 metros,

con colapsos y desprendimientos plenamente activos y funcionales (Sanjosé et al., 2013). Estos procesos son muy comunes entre Laredo y el macizo de Candina, dando nombre a la Ensenada de La Yesera.

El objetivo es conocer la dinámica actual de dos sectores muy activos de la costa oriental de Cantabria para obtener datos sobre la transferencia de sedimentos al mar y la evolución erosiva del puntal y los acantilados afectados por deslizamientos. Los objetivos de la toma de datos geomáticos se centran en la medición del deslizamiento de Erillo, y la evolución histórica de la playa de La Salvé.

TOMA DE DATOS Y RESULTADOS

Técnicas geomáticas en la ensenada de Erillo

Topografía con estación total

El estudio de la dinámica del deslizamiento de Erillo se basa la medición de los bloques de roca del deslizamiento y de la torre exenta. Se realiza con la estación total Topcon "Imaging Station-IS-", la cual permite medir "sin prisma" hasta distancias de 2000 m, con la posibilidad de hacer fotografías sobre los puntos medidos (Sanjosé et al., 2013). La fotografía de la IS nos permite comprobar con respecto a otras campañas que el punto observado es el mismo (Fig. 2).

Por tanto, sin tener que acceder a la ensenada, se han realizado las mediciones de 10 puntos de su superficie (Fig. 2). De los cuales, los puntos 1, 2, 6 y 9 se encuentran en el frente del talud de la ensenada. Pasados tres años en el punto 2 (2013) y seis años en el 9 (2016), debido a la dinámica frontal con desplazamientos entre 1 y 4 m·a⁻¹, los bloques se han caído y han sido sustituidos por otros puntos cercanos (Tabla I).

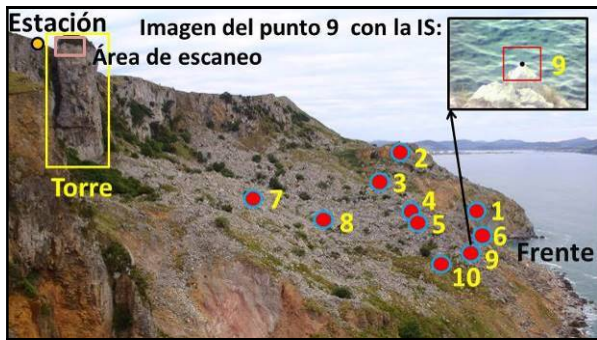


FIGURA 2. Fotografía de la ensenada de Erillo y situación de la torre y los puntos medidos.

Los puntos 4 y 5 están medidos sobre un elemento común, esto es sobre la misma roca, para comprobar el grado de precisión de las medidas. La diferencia entre ellos siempre es inferior a 2 cm, para cada uno de los años observados. Los 2 cm es el error de puesta en estación del instrumental y la medición sobre el punto. Los demás puntos, también son activos y su movimiento es coherente (Tabla I).

Punto	2010 - 2011		2011 - 2012		2012 - 2013		2013 - 2014	
	ΔH	ΔZ	ΔH	ΔZ	ΔH	ΔZ	ΔH	ΔZ
1	0,203	-0,231	0,156	-0,185	0,429	-0,234	0,135	-0,132
2	0,036	-0,039	1,355	-0,989	Caída y sustituida	0,067	-0,021	
3	0,083	-0,017	0,105	-0,044	0,238	-0,057	0,116	-0,087
4	0,333	-0,149	0,247	-0,133	0,363	-0,088	0,526	-0,257
5	0,348	-0,157	0,266	-0,113	0,345	-0,108	0,536	-0,250
6	0,321	-0,170	0,227	-0,104	0,337	-0,127	0,500	-0,291
7	0,282	-0,114	0,092	-0,001	0,198	-0,086	0,150	-0,030
8	0,122	-0,062	0,144	-0,061	0,249	-0,086	0,141	-0,080
9	0,967	-0,564	0,767	-0,494	0,797	-0,404	3,127	-1,990
10	0,168	-0,032	0,073	-0,069	0,227	-0,029	0,133	-0,058

Punto	2014 - 2015		2015 - 2016	
	ΔH	ΔZ	ΔH	ΔZ
1	0,190	-0,335	0,197	-0,104
2	0,029	-0,045	0,022	-0,030
3	0,071	-0,073	0,175	0,000
4	0,441	-0,208	0,320	-0,083
5	0,440	-0,208	0,304	-0,076
6	0,438	-0,282	0,319	-0,121
7	0,157	-0,063	0,177	-0,015
8	0,258	-0,121	0,154	-0,053
9	4,051	-2,774	Caída y sustituida	
10	0,116	-0,034	0,215	-0,035

Punto	2010 - 2016	
	ΔH	ΔZ
1	1,310	-1,221
2	CAIDA	
3	0,788	-0,278
4	2,230	-0,918
5	2,238	-0,912
6	2,143	-1,095
7	1,056	-0,309
8	1,069	-0,463
9	CAIDA	
10	0,932	-0,257

TABLA I. Incrementos en valores métricos (horizontales y hundimientos) en periodos anuales y periodo total (2010-2016).

Fotogrametría aérea

Se han realizado las restituciones de los vuelos fotogramétricos de los años: 1953, 1970, 1985, 1988, 2001, 2005, 2007, 2010 y 2014. Se han cartografiado las curvas de nivel de 0 m, 5 m, 10 m, 20 m y 30 m, a escala 1/2000 (precisión de 40 cm).

El análisis de la evolución de la línea de costa, con las restituciones de la ensenada, ha sido imposible. Posiblemente, debido a los continuos avances y retrocesos en la línea de costa.

Con el vuelo del año 2014 se ha realizado cartografía con curvas de nivel cada 5 m, para hacer una ortofotografía de detalle de la ensenada de Erillo.

Escáner láser terrestre (TLS)

Con el escaneado anual de la parte superior de la

torre de grandes dimensiones (70 metros de altura) (Fig. 2), se obtiene un modelo digital de elevaciones para cada campaña, donde se realizan los perfiles indicados en la figura 3.

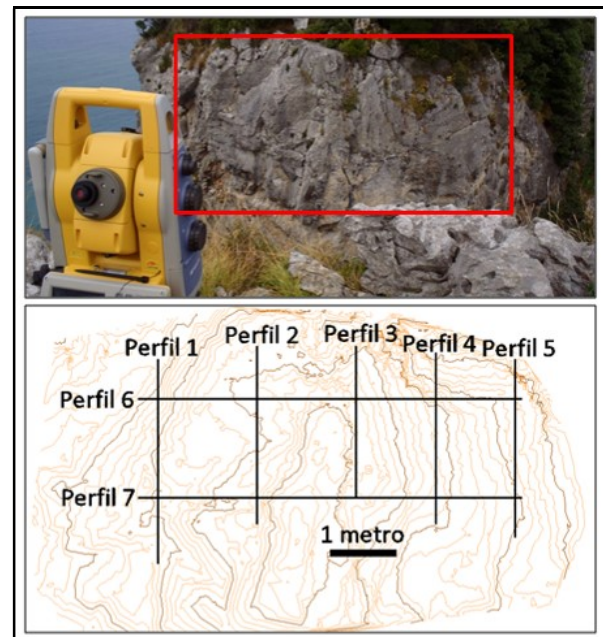


FIGURA 3. Área de escaneo con la estación "Imaging Station" y modelo digital con la situación de los perfiles.

La evolución dinámica de la torre exenta, puede verse en el perfil 6 de la figura 4, donde se indica un desplazamiento de 63 cm en dirección al norte o línea de costa. Hay un movimiento horizontal anual constante (entre 6 cm y 9 cm), pero entre los años 2014 y 2015 se produce un movimiento de 25 cm.

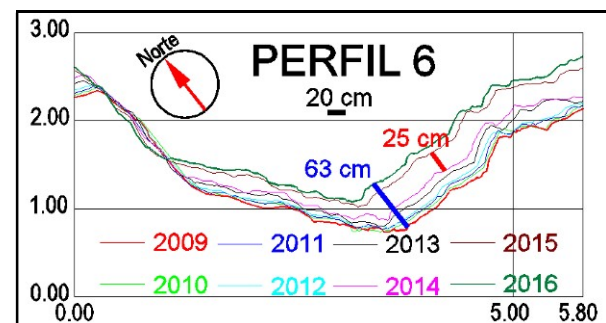


FIGURA 4. Dinámica del perfil 6, para el periodo 2009-2016.

Técnicas geomáticas en la playa de Laredo

Fotogrametría aérea

Los vuelos empleados para analizar el retroceso de la línea de costa en la playa de La Salvé, han sido los realizados en los años: 1953, 2001, 2005, 2007, 2010 y 2014.

Una vez desarrollado el proceso general de la fotogrametría (orientaciones: interna, relativa y absoluta) se ha restituido la curva de nivel de 0 m, cabeza y pie de talud arenoso, a una escala 1/2000.

Escáner láser terrestre (TLS)

En los últimos años la punta de la barra de arena de la playa de La Salvé ha tenido un significativo retroceso de la línea de costa. Así, los temporales de febrero-marzo de 2014 afectaron a una estructura (restaurante), la cual en mayo de 2015 fue derribada debido a su mal estado.

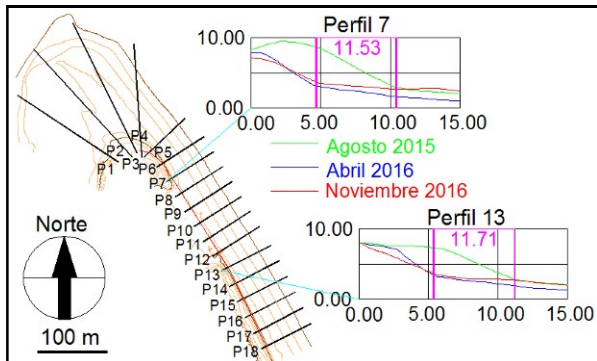


FIGURA 5. Modelo digital de elevaciones de noviembre de 2016 con la situación de los perfiles. Evolución de los perfiles 7 y 13.

Pero, este retroceso ha seguido y se ha comprobado mediante escaneos bianuales realizados desde 2015. Así, para el periodo invernal comprendido entre agosto de 2015 (primera observación) y abril de 2016 (segunda medida) hay un retroceso de la línea de costa de 11,53 m en el perfil 7 y 11,71 m en el perfil 13 (Fig. 5). En el periodo estival (entre abril de 2016 y noviembre de 2016) no se aprecia apenas retroceso, pero sí un cambio de pendiente del talud del frente arenoso.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los bloques y el deslizamiento de la ensenada de Erillo se desplazan con valores horizontales >2 m y subsidencias $>0,9$ m, para el periodo 2010-2016. Por otra parte, las restituciones fotogramétricas no muestran una tendencia clara de avance o retroceso del frente de deslizamiento, pues el avance del deslizamiento se compensa con la erosión marina.

Como elemento significativo en la ensenada de Erillo existe la torre exenta de grandes dimensiones que tiene un desplazamiento en su parte superior. Por ahora, se desconoce si el desplazamiento es del bloque entero, o un giro de la parte superior con respecto a la base, ya que, sólo se ha realizado una campaña de escaneo de toda la torre. La parte superior de la torre exenta muestra un desplazamiento medio entre 6 y 9 $\text{cm}\cdot\text{a}^{-1}$. Pero, lo más significativo se produjo en el periodo 2014-2015, cuando se desprendió una porción de la torre y los valores de desplazamiento fueron de 25 cm (Fig. 6).

Respecto a la playa de La Salvé, el retroceso es más acentuado se produce en el puntal, donde se han hecho escaneos desde agosto de 2015, con un retroceso de casi 12 m entre esta fecha y noviembre de 2016.

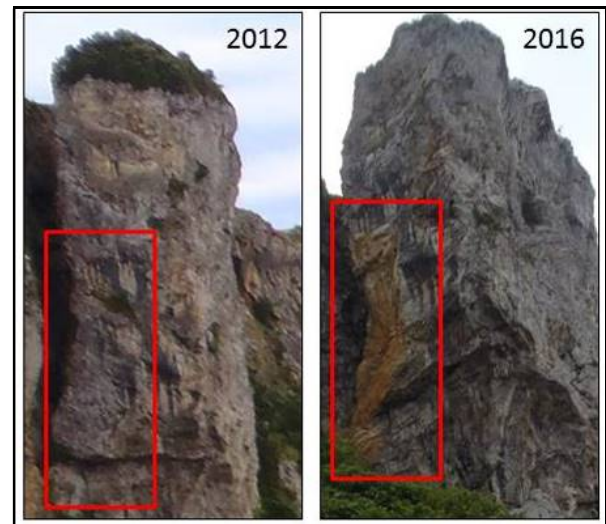


FIGURA 6. Fotografías del desprendimiento (entre agosto de 2014 y agosto de 2015) de un trozo de la torre exenta. Fotografía de 2012 (imagen frontal) y 2016 (imagen tomada desde la base de la torre).

Por tanto, en la ensenada de Erillo y en la playa de La Salvé, es necesario continuar las mediciones geomáticas de precisión para seguir analizando la evolución de la costa durante los próximos años.

AGRADECIMIENTOS

La presentación de este trabajo ha sido posible gracias a la financiación concedida por la Junta de Extremadura y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional - FEDER, a través de la ayuda de referencia GR15069 para el grupo de investigación NEXUS, al cual pertenecen algunos investigadores de este artículo.

REFERENCIAS

- González Amuchastegui, M.J., Serrano, E., Edeso, J. M. y Meaza, G. (2005): Cambios en el nivel del mar durante el Cuaternario y morfología litoral en la costa oriental cantábrica (País Vasco y Cantabria). En: *Geomorfología Litoral y Cuaternario* (E. Sanjaume y J. F. Mateu eds).. Universitat de Valencia, Valencia, pp. 167-180.
- Martínez Cedrún, P. (1984): Dinámica y sedimentación en el estuario del Asón (Cantabria). *Trabajos de Geología*, 14: 175-197.
- Sanjosé, J.J., Serrano, E., Berenguer, F., González-Trueba, J.J., Gómez-Lende, M. y González-García, M. (2013): Desarrollo de las técnicas geomáticas para el análisis del litoral. Aplicación a la costa de Cantabria (2009-2012). *Geo-Temas. VII Jornadas de Geomorfología litoral*, 7: 191-194.