



**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN DE OBRAS PORTUARIAS**



**COMPORTAMIENTO DE LAS PLAYAS ARTIFICIALES DE LA II  
REGIÓN**

## **1 INTRODUCCION**

El presente documento corresponde al resumen de un estudio de monitores e investigación a las playas artificiales de la II Región (Antofagasta) realizado en el Instituto Nacional de Hidráulica (INH). La Dirección de Obras Portuarias (DOP), del Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP), construyó cuatro playas artificiales; Balneario Municipal, Paraíso y El Trocadero en Antofagasta, y Covadonga en Tocopilla, con el objeto de recuperar y transformar espacios de uso público, siendo así, la primera experiencia en Chile en obras de este tipo.

Estas playas a lo largo de su existencia han presentado un comportamiento estable, tanto en las obras como en las arenas, no obstante, han evidenciado pequeños problemas que motivaron a la DOP estudiar y comprender dichos cambios (erosión en algunos puntos, talud fuerte del frente de playa, refección local etc. ).

En general, el diseño de este tipo de obras se basa en las teorías de equilibrio, las cuales consideran climas medios y algunos eventos extremos. Debido a la gran variabilidad de las condiciones que inciden sobre las obras y a la dificultad en la predicción del transporte de sedimentos los diseños originales de los perfiles de playa sólo constituyen una referencia que debe ser monitoreada con mediciones de campo.

El estudio fue abordado con mediciones de campo (Batimetrías estacionales, medición de marea y oleaje, muestras de sedimentos, levantamiento de las obras de abrigo e inspección submarina), modelación matemática (playas Covadonga y Balneario Municipal) y modelación física (playas El Trocadero y Paraíso).

### **1.1 OBJETIVO**

El objetivo del presente documento, es dar a conocer parte de los resultados obtenidos del monitoreo de las playas artificiales de la II Región.

A continuación presentaran los resultados del análisis de largo plazo para las playas que se encuentran en la ciudad de Antofagasta (Balneario Municipal, playa Paraíso y Trocadero).

## 2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Las playas que estudiaremos se encuentra en la región de Antofagasta, geográficamente se ubica entre los 21°30' y 26°5' de latitud sur y desde 67° longitud oeste hasta el borde costero.

La costa de la II región, en su mayor parte corresponde a roqueríos en la que es fácil observar a corta distancia desde tierra, rocas emergidas y otras sumergidas; y a diferencia del resto del país, la ausencia de las planicies litorales es un rasgo orográfico que caracteriza a la línea de costa de la región, y que posee las siguientes características:

- **Franja litoral norte**, se extiende desde Mejillones al norte, es extraordinariamente estrecha y está continuamente interrumpida por afloramientos rocosos.
- **Franja litoral sur**, se extiende desde la ciudad de Antofagasta, con escaso desarrollo de la planicie litoral y predominio de acantilados. Esta zona cuenta con muy pocas playas.
- Entre ambas franjas se ubica la península de **Mejillones**, cuyo sector oriental es una amplia planicie y por ello presenta las mayores posibilidades de habitabilidad.

El borde costero se encuentra abierto hacia el tercer cuadrante (SW - W) encontrándose expuesta a oleajes y vientos provenientes de esa dirección.

La ciudad de Antofagasta posee cierto abrigo natural para el oleaje proveniente del cuarto cuadrante (N - NW), ya que las olas que provienen de esta dirección son difractadas por punta Mejillones.

La zona de estudio corresponde a 4 playas artificiales, ubicadas en la II Región, tres de ellas ubicadas en la ciudad de Antofagasta y una en la ciudad puerto de Tocopilla, dichas playas se están enmarcadas en el plan estratégico de “Recuperación del Borde Costero Urbano” contenido en el plan bicentenario en la región.

La ciudad de Antofagasta cuenta con tres playas artificiales operativas (ver figura 1), y que en superficie equivalen alrededor de 19 mil metros cuadrados de arena. Las características principales de dichas playas son las siguientes:

**Balneario Municipal:** esta playa se encuentra ubicada en el sector centro-sur de la ciudad, es un la primera playa artificial construida en la ciudad de Antofagasta, está constituida por arenas blancas y posee 130m de frente y una berma promedio de 40m.

**Balneario playa Paraíso:** esta playa se encuentra en el área céntrica de la ciudad de Antofagasta, en las inmediaciones del barrio histórico, corresponde a una playa encajada con 250m de frente y ancho de berma comprendido entre 25m a 80m.

**Balneario Trocadero:** pequeña playa encajada con 170 m de frente y ancho de berma promedio de 40m esta playa se encuentra inserta en el proyecto de remodelación de la costanera norte orientado al uso de los barrios e infraestructura que se ubican en ese sector.

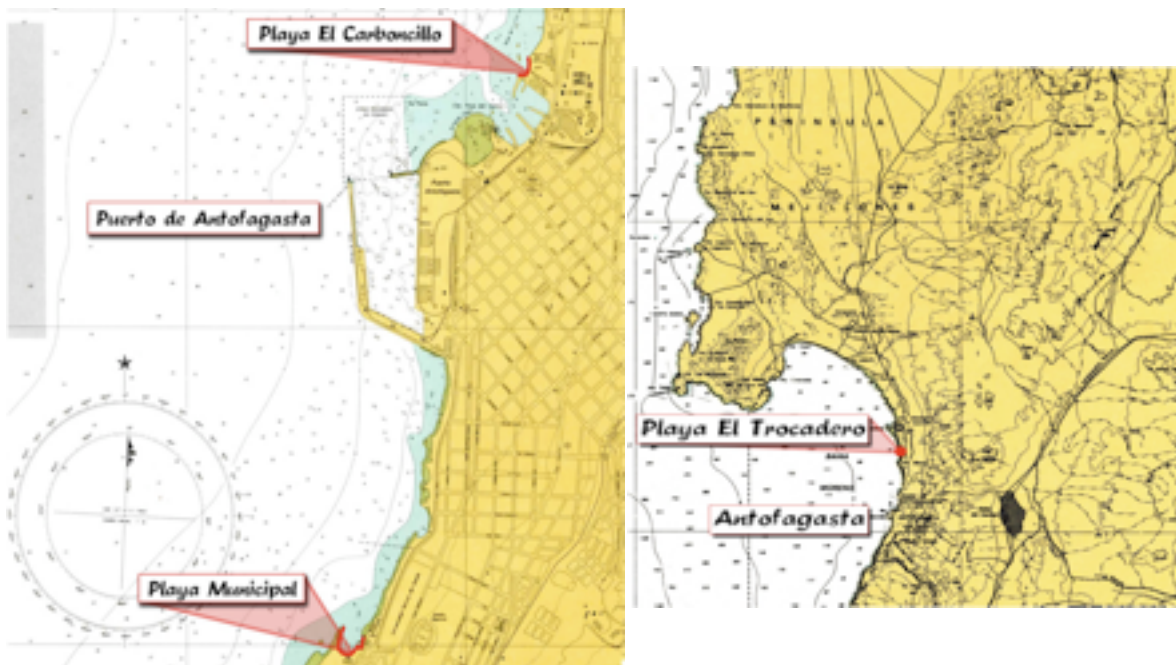


Figura 1 : Ubicación geográfica de las playas artificiales de Antofagasta

La cuarta playa artificial de la II Región, se encuentra en la ciudad de Tocopilla, y corresponde a:

**Playa Covadonga** (ver Figura 2) esta playa está ubicada en el acceso sur a la ciudad, es una playa protegida por dos molos de protección y un rompeolas sumergido lo que le permite ser una playa con poca agitación durante la mayor parte del año, cuenta con 140m de frente y una berma de 40m a 60m.



Figura 2 : Ubicación geográfica de playa artificial Covadonga.



## **2.1 PLAYAS DE ANTOFAGASTA**

### **2.1.1 Balneario Municipal**

Esta playa no presenta grandes problemas, sin embargo, se ha generado una socavación en el sector adyacente al molo norte (ver figura 3), que de acuerdo a lo informado por la DOP, este proceso se inició a los pocos meses de inaugurada la playa y se intensifica con los temporales. Aparentemente la arena perdida se ha reubicado en el sector Oeste de la playa y una pequeña parte en los intersticios del molo Este.

En planta se observa una distribución homogénea de los sedimentos no observándose cambios significativos a lo largos del estudio. El talud del frente de playa es fuerte con mayor inclinación en el costado Este (10 – 12%). Además, se observan beach cusps (formas rítmicas con longitud de onda de decenas de metros).



Figura 3 : Vista Balneario Municipal.

### **2.1.2 Playa Paraíso**

El problema más importante que registró esta playa fue la pérdida de arena a través del molo norte, con la consecuente disminución de la berma en este sector y al mismo tiempo se formó una nueva playa al costado norte de dicho molo. Para evitar esta pérdida de arena, a finales del 2006, la DOP realizó un

estudio con obras complementarias, las que fueron materializadas en el año 2007, instalando además un Geotextil cubierto con rocas en el talud interior del molo norte.

Por otra parte, desde que se implementaron las obras en los extremos de los espigones, se ha manifestado una erosión notoria del perfil de playa en el sector sur con afloramiento de estabilizado, mientras que el sector norte de la playa ha experimentado una acreción.

El talud del frente de playa es del orden de 10 – 12%, indicando que la playa se encuentra en estado reflejante, así mismo, durante las campañas se observa que el oleaje residual al interior de la playa es bastante enérgico con una rotura tipo collapsing. La zona de la boca de la dársena, es un sector muy activo hidrodinámicamente, pudiendo constatar que la totalidad del oleaje incidente disipa su energía en este sector (zona de rompiente).



Figura 4 : Panorámica playa Paraíso.



Figura 5 : Zona erosionada - Afloramiento estabilizado.

### 2.1.3 Playa El Trocadero

De acuerdo a lo observado a la información recopilada durante las campañas de terreno, se estima que la playa es relativamente estable, sin embargo, se ha manifestado un problema de erosión en el sector adyacente al molo sur, observándose afloramientos rocosos. Esta situación es causada por los siguientes fenómenos:

- Reflexión del oleaje generada en la unión de este molo con la playa, que provoca un mayor runup y así mismo un transporte transversal mayor que en el resto de la playa.
- Transporte de sedimentos generado por masas de aguas acumuladas en el estrán superior de la playa durante las tormentas y que descargan hacia el mar por este sector

Esta playa es muy concurrida en época estival y no presenta problemas para los bañistas, corresponde a una de tipo reflejante con formación de pequeños cusp. La rompiente al igual que en todas las playas artificiales es del tipo colapso u oscilación, dependiendo de la energía del oleaje incidente.



Figura 6 : Vista playa Trocadero - Afloramiento rocas.

### 3 ANÁLISIS DE LARGO PLAZO EN PLAYAS ARTIFICIALES

A continuación se analiza el funcionamiento morfológico de las playas de Antofagasta, con el objeto de describir la forma características tanto de la planta como del perfil, considerando los cambios que la dinámica marina produce sobre ellos.

A pesar que una playa natural presenta irregularidades, tanto en perfil como en planta, y en las escalas de espacio y tiempo, se asumirá que la playa puede ser definida mediante una línea de planta y varios perfiles tipo, por lo tanto, para un análisis tanto en largo plazo como en corto plazo, se asume la hipótesis de ortogonalidad. Esta hipótesis permite analizar la estabilidad de una playa estudiando por separado la:

- Estabilidad de perfil de playa (eje transversal).
- Estabilidad de la planta (eje longitudinal).

En el presente capítulo se describe la forma media o de equilibrio de la zona de estudio sometidas al clima marítimo.



### **3.1 PLANTA DE EQUILIBRIO.**

A continuación se define la forma de la línea de costa en función de las características medias del oleaje atendiendo al tipo de playa:

Para el análisis de la playa, se utilizó el modelo de propagación de oleaje Oluca-SP, herramienta que corresponde a un modelo espectral no dispersivo que resuelve la fase del oleaje (MRF). El modelo requiere como entrada un estado de mar direccional, el cual está representado por un espectro bidimensional discretizado en componentes de frecuencias y dirección, las cuales son propagadas de manera simultánea.

Para la propagación de las componentes de energía, la aproximación parabólica incluye refracción-difracción con interacción oleaje-corriente (Kirby, 1986 a). El modelo incluye las pérdidas de energía debido a la rotura del oleaje utilizando tres diferentes modelos estadísticos de disipación, dos de los cuales calculan la tasa media de disipación de energía asociada a un bore en movimiento (Battjes y Jansen, 1978; Thornton y Guza, 1983) y un tercero que asocia la tasa de disipación al gradiente entre el flujo de energía estable y local (Winyu y Tomoya, 1998).

La metodología utilizada para el análisis es la siguiente:

- Propagación del oleaje desde aguas profundas hasta la zona de interés: por medio del modelo matemático Oluca SP.
- Reconstrucción del clima de oleaje local en puntos de control definidos: por medio de un código Matlab, se obtiene los coeficientes de agitación y dirección en los puntos de interés necesarios para reconstruir el clima de oleaje frente a la costa.
- Determinación del flujo medio de energía frente a la costa: con el clima de oleaje reconstruido frente a la costa (en los punto de interés), se procede a realizar una integración vectorial de cada flujo de energía asociado a cada estado de mar ( $E \cdot C_g$ , Dir), así, se obtiene un valor correspondiente a la dirección del flujo medio de energía ( $\theta_{ECg}$ ).
- Predicción de la línea de costa media o de equilibrio estático: con los resultados del punto anterior, se construye la línea media considerando el modelo parabólico de Hsu y Evans (1989), desarrollado por González (1995) en el GIOC.

#### **3.1.1 BALNEARIO MUNICIPAL**

Al realizar un análisis de largo plazo, se pudo ver que los cambios morfológicos experimentados en la playa habrían sido cambios los esperados, ya que, al comparar las líneas de costa actual y la de equilibrio, se estima que la playa no ha hecho más que acomodarse a su situación de equilibrio.



Figura 7 : Planta equilibrio Balneario Municipal.

### 3.1.2 PLAYA PARAÍSO

La configuración de esta playa fue modificada el año 2007, con el objeto de asegurar el buen funcionamiento evitando las pérdidas de arena que ocurrieron en el sector norte, esto, felizmente modificó la línea de costa, aumentando el ancho de berma en el costado del molo norte.

Esta es playa se encuentra confinada por dos rompeolas y su forma en planta depende en gran medida de la difracción del oleaje generada por el molo sur. De acuerdo al análisis de largo plazo, se obtuvieron los trazos que representan la planta de equilibrio generada por el área de influencia de cada molo, sin embargo, debe destacarse que en naturaleza la línea de costa buscará una transición suave entre ambas líneas teóricas (área amarilla en Figura 8 y Figura 9).

Del análisis de largo plazo se destaca lo siguiente:

- Cuando la playa entró en funcionamiento (ver Figura 8), el molo perpendicular a la costa era una estructura permeable, que facilitaba la fuga de sedimentos hacia norte, esto provocó que el

ancho de berma en la zona aledaña a dicha estructura disminuyera hasta alcanzar un nuevo equilibrio (que estaba muy lejos de esperado por proyecto).

- Las obras complementarias implementadas el año 2007 (una de las modificaciones era impermeabilizar el molo norte), contribuyeron a aumentar el ancho de berma en el lado norte, provocando que la línea de costa girase 3 – 4° orientándose hacia el SW y acercándose a la situación de equilibrio de largo plazo (ver Figura 9).
- Finalmente se aprecia un sector (lado sur, erosionado en la actualidad) que podría no encontrarse en equilibrio, cuya línea de equilibrio se encuentra retrasada respecto de la línea de costa existente (ver Figura 9).

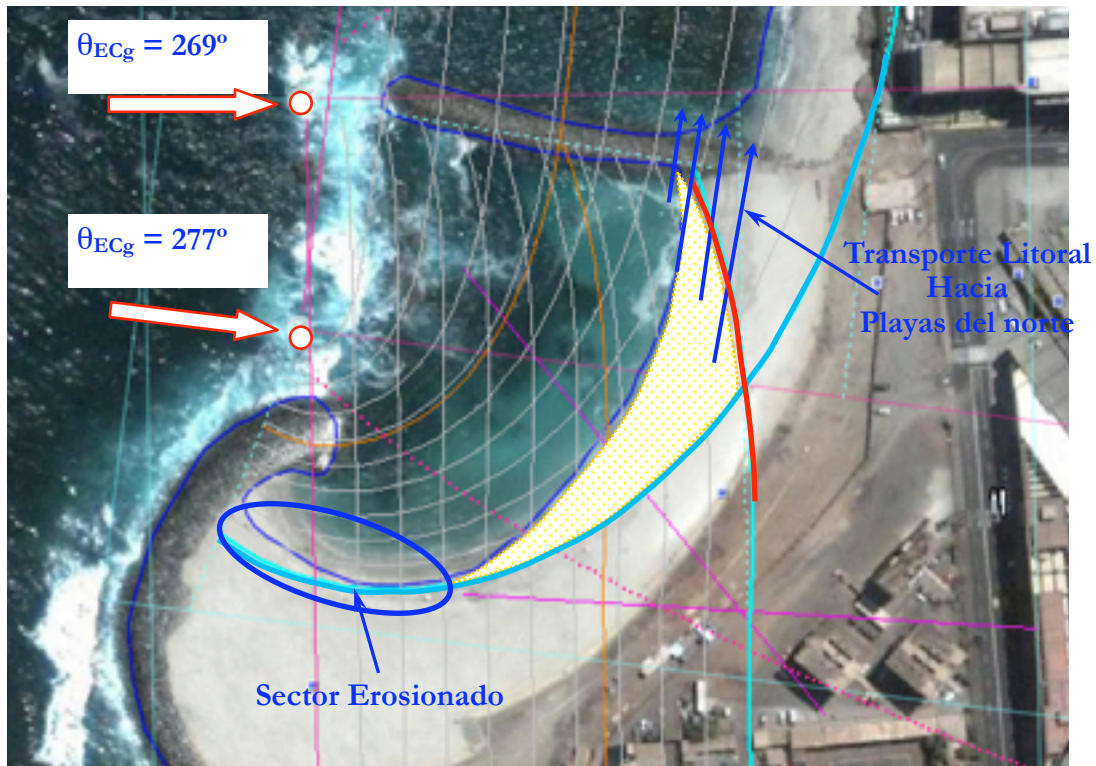


Figura 8 : Planta equilibrio playa Paraíso año 2006.



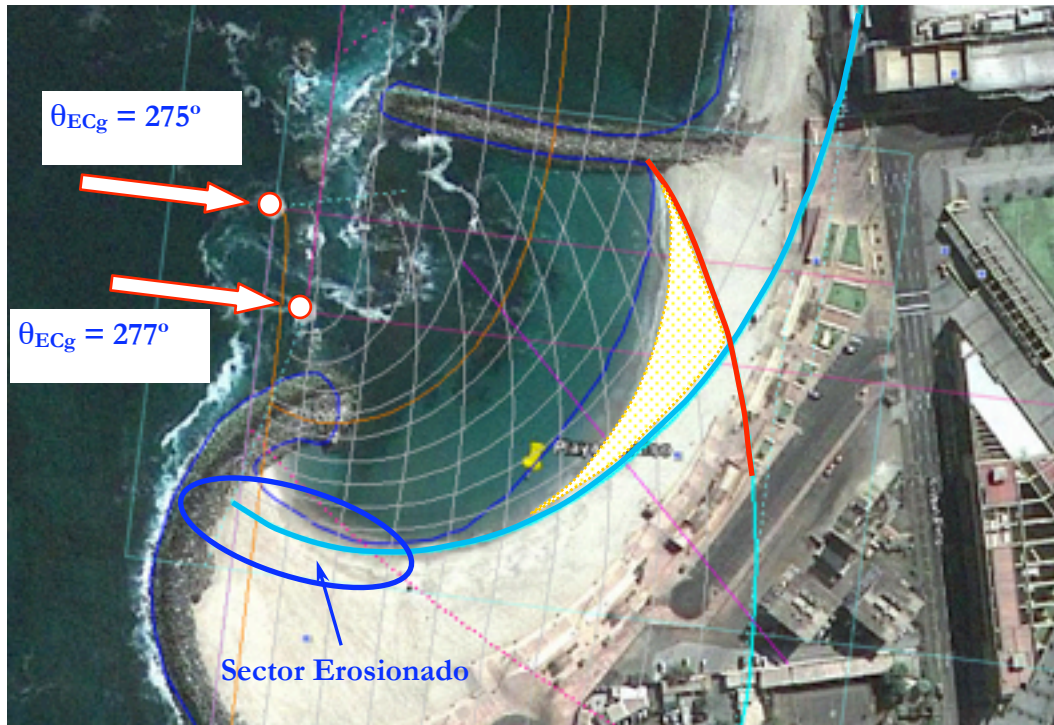


Figura 9 : Planta equilibrio playa Paraíso año 2009.

### 3.1.3 PLAYA TROCADERO

Del análisis de largo plazo, ajustando la línea de costa de equilibrio con la línea de costa actual, se observa pequeñas diferencias en el extremo norte de la playa, propiciada por la interacción entre el molo y el talud de la playa, no obstante, en el costado sur (zona erosionada), es posible ver que existe una separación mayor entre la línea de costa teórica y natural (separación entre 5 – 10m).

El pequeño desequilibrio que existe en el límite del molo sur, explicaría los problemas de erosión que se han generado en este sector, revelando que la playa se encuentra en una etapa previa a la situación de equilibrio, o que existen problemas locales causados por la interacción entre el molo y la playa

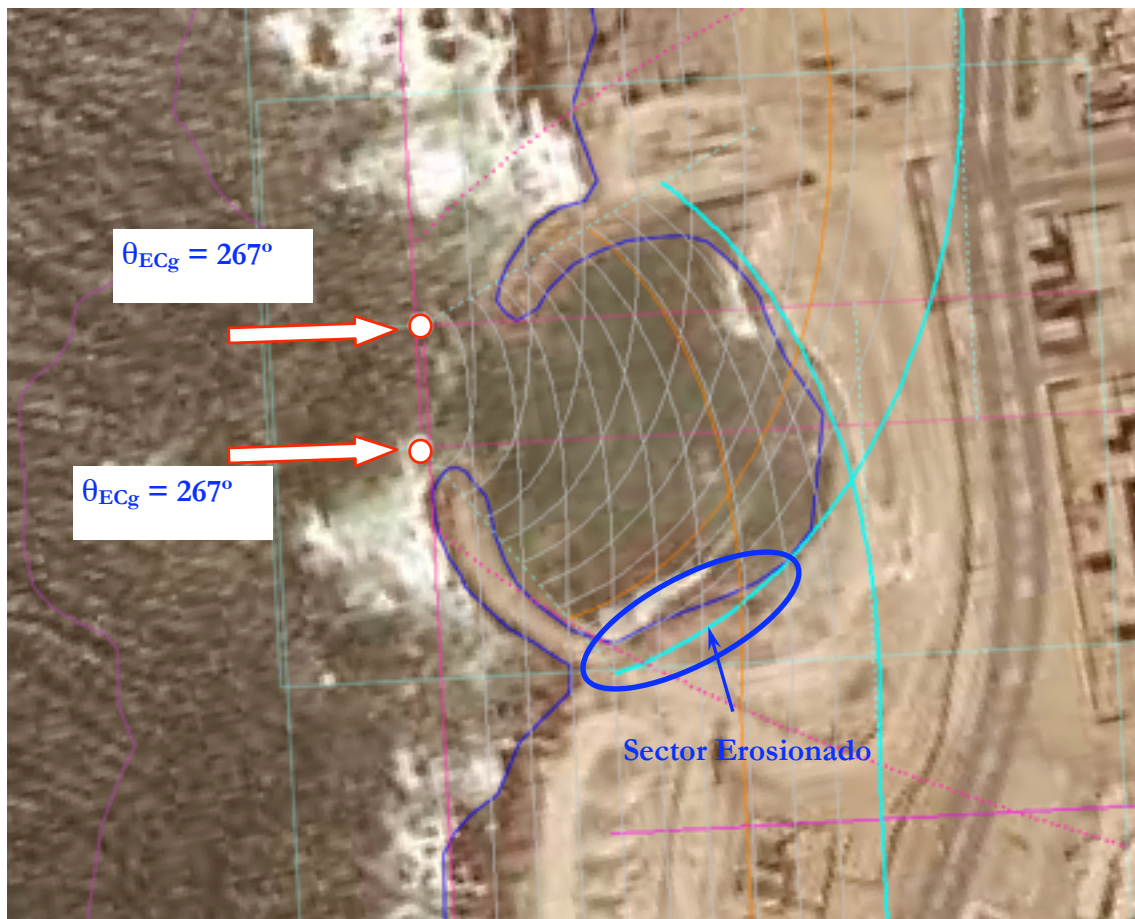


Figura 10 : Planta equilibrio playa El Trocadero.



#### **4 CONCLUSIONES**

Considerando los antecedentes proporcionados por a DOP respecto de problemas de erosión en algunos sectores de las playas y el análisis de la planta de equilibrio, se estima que las playas analizadas han presentado comportamiento acorde a las características energéticas del oleaje y a la orientación de las obras que las contienen, y que en el caso de las playas donde se ha producido ciertos problemas erosivos, estos no han sido más que parte de su evolución natural hasta alcanzar su forma en planta definitiva

Respecto de playa Paraíso, al inicio de la vida útil esta playa experimento un retroceso de la línea de costa (sector norte) debido, a que la arena no se encontraba totalmente contenida por sus contornos, siendo necesario la implementación de obras complementarias que impidiesen la fuga de sedimentos hacia el norte. Las obras complementarias fueron una buena solución a los problemas que existían, sin embargo, con su nueva configuración, surgió otro problema (muy local) en el sector sur de la playa, aflorando material de estabilizado que se encuentra bajo la capa de arena.

En relación al análisis de largo plazo realizado con el modelo matemático SMC, los resultados indican que parte de playa Paraíso se encuentre en equilibrio, en especial desde la zona central hacia el norte, mientras que el sector sur, presente diferencias entre la línea de costa esperada – ubicada más atrás – y la existente.

La diferencia entre líneas de costas (teórica v/s real) en el sector actualmente erosionado, nos indica que la playa debería retroceder hasta alcanzar su equilibrio.