

Algunas consecuencias y aplicaciones del conocimiento de la función polar de los salientes (*)

Por **CARLOS GARAU**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

En anteriores artículos del autor, publicados en esta Revista (el último, en R.O.P. número enero 1981) se expusieron las bases de la teoría de la función polar de los salientes, en su aplicación a la estabilidad de playas. Como complemento ha dicho trabajo, se presentan a continuación varios ejemplos de playas cuya forma se debe a condicionantes de contorno (San Feliú de Guixols, Santander, Laredo, bahía Frederick Henry y Kaimu Beach).

1. RESUMEN

Como complemento del artículo «Condicionantes de la estabilidad de las playas, análisis de la función polar de los salientes», se exponen varios ejemplos de playas cuya forma se debe a condicionantes de contorno. Dichos ejemplos, dos de los cuales se refieren a playas de Santander, sujetas a mareas que alcanzan los 5,00 m. de carrera, constituyen una comprobación de la eficiencia de lo que denomino «Compas de Playas», es decir, la espiral logarítmica ($\varphi = 30^\circ$) centrada en los salientes.

A continuación se expone cómo mediante el análisis de la forma de la playa de El Sardinero, partiendo simplemente de una fotografía aérea, se dedujo la existencia de unos bajos rocosos que no se aprecian ni en dicha fotografía ni en las cartas marinas.

Seguidamente, se exponen varios ejemplos de cómo el conocimiento de la función polar de los salientes puede aportar una información muy valiosa para resolver algunos problemas.

2. EJEMPLOS DE PLAYAS CUYA FORMA SE DEBE FUNDAMENTALMENTE A CONDICIONES DE CONTORNO

2.1. Playa de San Feliú de Guixols (Gerona)

En la figura 4.a (*) de (3), que se reproduce en la figura 1, se hacía una estimación de la

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de agosto de 1982.

posición que debía tener la orilla de la playa de San Feliú de Guixols antes de la construcción del dique del Puerto. En la última figura (**) de (4) se reproducía un plano (llegado a mis manos con posterioridad a la remisión del artículo a la R.O.P., pero a tiempo para incluirlo en su publicación), que constituía una perfecta comprobación de la bondad de la hipótesis que se había formulado para explicar el proceso. Sin embargo, la mencionada última Figura de (4) sólo reproducía, parcialmente y a escala muy reducida, el original, por lo que seguramente los lectores del artículo no pudieron apreciar la evidencia gráfica. En la Figura 2A se reproduce la Carta del Instituto Hidrográfico de la Marina, levantada en 1885, sobre la que se dibuja la curva de sectores de espiral de manera que exista compensación en áreas. La concordancia de de la línea $A_3 A_2 A_1 A_0 A'_1 A'_2 A'_3 A'_4$ con la orilla es plenamente satisfactoria. Dicha línea equivale a la M Q N P de la figura 1, con lo que la comparación de ambas figuras es suficientemente expresiva. En la figura 2B se reproduce completa la última figura de (4).

2.2. Playas de El Sardinero y El Puntal, en Santander

En la figura 3 se reproducen las playas de El Sardinero y El Puntal, situadas en las inmediaciones de la ciudad de Santander. De igual manera que en el caso anterior, el trazado de la figura es suficientemente expresivo por sí sólo, siendo conveniente aclarar que debido a la carrera de marea, la posición de la orilla

(*) Pág. 655, ROP julio 1973.

(**) Pág. 788, ROP agosto 1973.

sufre un continuo desplazamiento, cuyo máximo se ve registrado en la fotografía aérea de la que es calco fiel la figura 3. La posición de la orilla dibujada corresponde a una situación intermedia. Es también interesante aclarar que la playa de El Puntal es en realidad la cara lado mar de una flecha de arena que cierra la bahía de Santander, dejando una abertura que se mantiene a causa de la corriente necesaria para permitir las variaciones de volumen de la Bahía con la marea.

La notación utilizada en estas figuras (*) responde al criterio de asignar las letras O con subíndices numerales, para los salientes «dextrorsum» (alejamiento del polo con giro hacia la derecha o de las agujas del reloj), y las letra O' con los subíndices numerales que se precisen, para los salientes «sinistrorsum». Las letras mayúsculas A, B, corresponden a cada playa de la figura, en nuestro caso a las de El Puntal y El Sardinero, respectivamente. Los subíndices de estas letras se corresponden con el del saliente que determina el centro del sector de espiral, situándose cada punto en el límite de la influencia del saliente. El subíndice o se reserva para el punto en donde se produce la variación del sentido de la espiral (punto A_o) o bien donde comienza la playa (punto B_o).

De esta forma, el sector A_o A₁ corresponde al centro O₁; el sector A₁ A₂ corresponde al centro O₂; el sector A_o A₁ corresponde al centro O₁; el sector A₁ A₂ corresponde al centro O₂; el sector B_o B₂ corresponde al centro O₂, etcétera.

2.3. Playa de Laredo (Santander)

En la figura 4.a. se reproduce la playa de Laredo que, como las anteriores, queda abierta al Cantábrico y está sometida a una carrera de marea que oscila entre los dos metros de mínimo y cinco metros de máximo. También se trata de un calco fiel de la fotografía aérea de la colección obrante en la Jefatura de Costas y Puertos de Santander, siendo válidas las mismas aclaraciones efectuadas anteriormente. Obsérvese como la línea trazada con el «compás de playas» representa fielmente la posición media de la orilla, excepto en el tramo afectado por la corriente de marea.

(*) Excepto las figuras 1 y 2B, por ser de producción de (3) y (4), respectivamente.

2.4. Playas de la bahía Frederick Henry (Australia del Sur)

S. L. Davies (1960) describió numerosos ejemplos de playas de Australia del Sur, en apoyo de su teoría de que la orilla se orienta en la dirección de los oleajes de fondo (Swell), ajustados al relieve de la topografía submarina por efecto de la refracción. En la figura 5 se reproduce el esquema que presentaba sobre la bahía de Frederick Henry, en cuyo fondo se encuentra la playa Seven Mile, que es una flecha similar a las de el Puntal y de Laredo (figuras 3 y 4.a). En la misma bahía existen otras playas. Davies indica en la figura 5.a el diagrama de refracción para un oleaje de catorce segundos de período, en el que se representan las crestas de cada diez ondas.

Esta teoría de Davies se daba por admitida en el planteamiento inicial de mi trabajo (3), a pesar de desconocer entonces los artículos de dicho investigador. El problema está en lo que ocurre cuando los fondos son deformables.

Aunque no dispongo de información suficiente para hacer un estudio de las playas de esta Bahía, es muy ilustrativo analizar las formas con el «compás de playas». Es preciso tener en cuenta que se trata de una disposición en «hiperestabilidad formal» frente a los oleajes exteriores a la Bahía, según se describe en el epígrafe 4.2.2. en (13), por lo que los oleajes producidos en el interior de la bahía juegan un papel importante sobre la forma de la playa Seven Mile, en su extremo de Levante (tramo D_o D₈ de la figura 5.b).

Los resultados de este análisis gráfico se indican en la figura 5.b, en la que se ha utilizado la notación anteriormente descrita para facilitar la comprensión de tan complejo conjunto de salientes y playas en una misma bahía.

La playa Seven Mile presenta un tramo central D_o D_o que se ajusta perpendicularmente a la dirección de los oleajes procedentes de O₁, orientación que resulta perfectamente estable frente a los oleajes procedentes de O₄ (estamos en la situación de hiperestabilidad antes mencionada).

En la Figura 5.c se reproduce la misma bahía de Frederick Henry, en la cual, centrandó el compás de playas en los salientes indicados en la figura 5.b, se dibuja de puntos las líneas de la orilla, comprobándose el buen

ajuste de las playas A, B y C con las espirales dextrorsum y el buen ajuste de las playas G y H con las espirales sinistrorsum. Se comprueba que la playa D se compone de tres sectores, el tramo $D_8 D_0$ dominado por los polos O_5 y O_8 ; el tramo $D'_0 D'_8$ dominado por la acción del polo O'_8 (recuérdese la observación anteriormente efectuada respecto a la relativa importancia de los oleajes generados en el interior de la bahía, con *fetch* de hasta unos 15 Km.), y un tramo central $D_0 D'_0$ que se ajusta muy bien a los oleajes procedentes del exterior de la bahía. Se comprueba que la playa F se conforma bajo la acción polar de vaciado de O_9 y de O'_7 y que resulta también ajustada en su tramo central a la forma de llenado respecto al polo O_3 . Algo similar ocurre con la playa G. La playa E se aparta ligeramente de la forma de vaciado correspondiente a los polos O'_1 y O'_2 , mientras se ajusta perfectamente a la forma de llenado correspondiente al polo O_4 (en la figura 5.c se indican las circunferencias de centros O'_1 , O_4 y O_1 correspondientes a los tramos $D_0 D'_0$, $E'_0 E'_2$, $F_{10} F'_7$ y $G'_0 G'_3$ respectivamente).

El anterior análisis responde a una doble finalidad. De un lado ilustrar los conceptos vertidos en mis artículos (3), (4) y (13). De otro, comprobar una vez más su eficiencia. Sin embargo, para esto último sería necesario conocer con mayor detalle la morfología de estas playas. Es presumible que las playas A, B, C, G y H sean muy similares a la de El Sardinero, por lo que sería interesante comprobar la existencia de los apoyos necesarios (ver epígrafe 3 más adelante) excepto para la playa H que está totalmente encajada. Sería muy ilustrativo comprobar que la mayor parte de los fondos de la bahía son arenosos, aunque no podemos olvidar que la existencia de toda playa responde a unas condiciones muy singulares y es muy frecuente que en su estabilidad intervengan varios factores. No obstante, la regularidad y escasa variación de los espacios que separan las crestas de onda, al avanzar hacia la orilla en la figura 5.a, sugiere que probablemente se trata de fondos arenosos prácticamente en su totalidad. Lo que sí se puede afirmar es que todas estas playas deben tener clara estabilidad formal.

A pesar de lo farragoso que resulta exponer gráficamente y describir los resultados de este tipo de análisis y más comprenderlo por primera vez, en realidad se puede hacer muy rápidamente, mientras que las ayudas que

aporta para una mejor comprensión de la naturaleza, razón de ser, carácter de estabilidad, comportamiento, origen, etc., de las formaciones arenosas afectadas por condicionantes de contorno, son muy valiosas.

3. DEDUCCION DE LA EXISTENCIA DE UN BAJO ROCOSO EN EL EXTREMO DE LEVANTE DE LA PLAYA DE EL SARDINERO

Las evidencias gráficas anteriormente expuestas no se limitan a una simple curiosidad o coincidencia. Estos ejemplos de playas que son sensiblemente estables y deben su forma a condicionantes de contorno, deben contemplarse a la luz que lo expuesto en (3), (4) y (13), teniendo presente las demás circunstancias necesarias para la génesis y permanencia de las playas, a fin de lograr el mejor conocimiento de todos los mecanismos que intervienen en su estabilización.

El detenido exámen de la figura 3 puso de relieve una clara anomalía: la orilla $B'_2 B'_0$ de la Playa de El Sardinero, cuyo ajuste a la espiral de centro O'_2 en el Cabo Menor es perfecto, no se prolonga hasta la península de La Magdalena. ¿Cómo explicar este hecho, cuando aparentemente la península de la Magdalena debía ser el «apoyo lateral» de dicha playa?

El exámen de la fotografía aérea y de las cartas marinas no revelaba la existencia de ningún bajo rocoso que, a modo de espigón situado en el punto B'_0 pudiese constituir el verdadero apoyo lateral de la playa de El Sardinero. Sin embargo, en base a mi análisis de los condicionantes de su estabilidad (esto ocurría en julio de 1979, con motivo del II Curso de Ingeniería Oceanográfica y Portuaria, de la Universidad Internacional Menéndez y Pelayo, en Santander), la única explicación plausible de que faltase el tramo de playa entre B'_0 y La Magdalena, estaba en la excesiva profundidad de los fondos al pie de dicha península (falta de «apoyo», circunstancia que la carta marina confirmaba). Pero precisamente esta explicación de la ausencia del pequeño tramo de playa hacía inelucible la existencia de un saliente rocoso en B'_0 , que actuaría a modo de espigón (sumergido puesto que no se reflejaba en la fotografía aérea) constituyendo el apoyo necesario para complementar la acción polar del Cabo Menor.

Para confirmar la existencia de dicho bajo

rocoso, que se indica en línea de puntos en la figura 3, observé el lugar en bajamar, apreciando como las olas se deformaban y rompían revelando la existencia de tal formación. Más tarde, algunos de los asistentes al mencionado cursillo me confirmaron el hecho.

Este «descubrimiento» de la existencia de un bajo rocoso puede interpretarse como simple hecho curioso o anecdótico. Sin embargo, a mi juicio constituye una prueba clara de la utilidad del análisis que propugno. ¿No es importante comprobar que aquel elemento requerido para que la playa de el Sardinero se ajuste a la teoría y, sin embargo, inexistente según la documentación gráfica disponible, se encuentra realmente en la topografía submarina? ¿Acaso no pone de relieve que con este tipo de análisis se logra un importante esclarecimiento de la relativa influencia de los diversos condicionantes de la estabilidad de una playa? ¿No implica, por tanto, una nueva luz a la hora de diagnosticar cierto tipo de problemas de las playas, y muy especialmente los relacionados con la introducción de nuevos salientes? ¿No es importante esta luz tanto para calibrar el éxito de una obra de estabilización de playa como para vislumbrar los peligros de una obra portuaria enclavada en las inmediaciones de una formación arenosa?

En una esquemática descripción de los mecanismos estabilizantes de esta playa, podemos decir lo siguiente:

La playa de El Sardinero está sensiblemente orientada al Noreste, mientras la configuración del *fetch* geográfico sugiere una resultante de la acción de los oleajes procedentes del Noroeste, según se aprecia en el recuadro de situación que se incluye en la figura 3. En consecuencia, podemos afirmar que la forma estable de esta playa se acopla al «límite de vaciado lateral» producido por el oleaje difractado en el Cabo Menor. Es interesante destacar que la efectividad de la FUNCION POLAR de dicho cabo, O_2 , y de la FUNCION DE APOYO LATERAL del bajo rocoso B_2 viene reforzada por el CONDICIONANTE DE FETCH descrito. Si no fuese así, dado que los salientes del litoral de Levante no presentan la disposición suficiente para prestar la «forma óptima» descrita en los epígrafes 4.2.2. y 4.2.3. de (13), la playa estaría sujeta a una movilidad importante (no se dibuja la espiral centrada en los salientes de Levante, que nos

indicaría esta posibilidad de deformación de la playa, para no complicar la figura. Sería engorroso describir el continuo y rápido uso del «compás de playas» que se hace para analizar diversas posibilidades).

4. ESTIMACION DE LOS EFECTOS QUE SE DERIVAN DE LA HIPOTETICA CONSTRUCCION DE UN DIQUE EN LAREDO

En la figura 4a hemos resaltado el correcto ajuste de la forma de la orilla a los sectores de espiral correspondientes a los salientes del litoral, en el caso concreto de la playa de Laredo. Vamos a analizar ahora los efectos que produciría la construcción de un dique que arrancando del punto O_2 implicase la introducción de un nuevo condicionante de contorno simbolizado por el punto O_4 de la figura 4b.

En una primera aproximación para evaluar la capacidad de alteración de la playa, desarrollamos la figura 4.b, en la cual se dibuja la línea $B'_3, B'_2, B'_1, B'_0, B_4$ por el mismo procedimiento seguido para trazar la línea $A'_3, A'_2, A'_1, A_0, A_2, A_3$, teniendo en cuenta que el nuevo polo O_4 desvirtúa los efectos de los polos O_1, O_2 y O_3 e imponiendo la condición de que las áreas de erosiones y de accesiones sean iguales ($S_e = S_a$). Un sencillo y rápido tanteo permite estimar esta nueva posición B de la orilla a media carrera de marea. Los retrocesos y avances necesarios para pasar de la línea A a la B representan una primera estimación de los efectos derivados de la construcción del dique O_4 , pudiéndose apreciar erosiones de más de 150 m. y accesiones superiores a 350 m., lo cual probablemente sería inadmisibles dado el actual grado de utilización de la playa de Laredo.

Sin embargo, no debemos olvidar que la posición B de la orilla (fig. 4b) representa el límite de los procesos de transporte irreversible por la acción de los oleajes. Es decir, que si por algún procedimiento se alcanzase tal posición, se mantendría estable bajo la acción de todos los oleajes. Si se diese la circunstancia de que el Polo O_4 quedase situado en profundidades de rotura de la ola, habría que presumir que el «efecto de remolino» (13) conduciría a la rápida adaptación de la playa hacia su nueva forma B estable.

Si por el contrario, el polo O_4 queda claramente en profundidades superiores a la de rotura del oleaje, la zona próxima al dique tendería tan sólo hacia la forma circular (3), (13), con centros en O'_1 , O_4 y O_3 , ya que ningún oleaje puede producir la acesión (llenado) por delante del tramo C_m , $C_n \equiv C_4$, C_3 de la figura 4.c. En dicha figura se hace esta segunda evaluación de los efectos provocados por la construcción del dique $O_2 O_4$, dibujando la línea C'_3 , C'_2 , C'_1 , C_o , C_m , C_n , C_3 por el mismo procedimiento descrito para la figura 4.b (introducimos las notaciones C_m y C_n ya que el simbolismo anteriormente descrito resulta insuficiente, debido a que el tramo $C_m C_n$ es la circunferencia (*) de centro en O'_1 . El punto C_m es el de tangencia entre la espiral $C_o C_m$ de centro en O_4 y la circunferencia $C_m C_n$ de centro en O'_1 . El punto C_n corresponde a la línea $O'_1 O_4$ que coincide casualmente con la línea $O_4 O_3$ que nos definiría el punto C_4).

Podemos observar que en el caso que analizamos (mezcla de condiciones reales concretas e hipótesis de construcción de un determinado dique), la diferencia de resultado entre las dos evaluaciones de los efectos es importante, pero probablemente no sería determinante de la decisión de considerar inadmisibles los efectos de la figura 4.b y admisibles los de la figura 4.c. Ambos resultados podrían conducir a la inadmisibilidad de la construcción del dique $O_2 O_4$ sin otros motivos que los derivados de considerar intolerables sus efectos sobre la estabilidad formal de la playa. Sin embargo, esta conclusión podría ser precipitada ya que en el supuesto de la figura 4.c. sería posible evitar tales perjuicios, según se indica seguidamente.

El mecanismo fundamental que produce las erosiones y accesiones progresivas que a lo largo del tiempo implicarían la evolución de la orilla desde la posición A de la figura 4.a a las B o C de las figuras 4.b y 4.c, es el transporte longitudinal de sedimentos. La alteración fundamental introducida por el dique $O_2 O_4$ consiste en hacer irreversible las acumulaciones en el área $PA_o A_1 A_2 A_3 B_4 P$ de la figura 4.b o en el área $PA_o A_1 A_2 A_3 C_3 C_n C_m P$ de la

figura 4.c. Por lo tanto, si introducimos una barrera en las proximidades del punto P (intersección de las dos posiciones de la orilla) que impida el transporte longitudinal de sedimentos, quedarán contrarrestados los efectos descritos en las figuras 4.b y 4.c. Podemos observar que dicho punto P no coincide exactamente en ambas figuras y que al iniciarse los efectos del dique $O_2 O_4$ la orilla todavía no ha retrocedido de su posición A, por lo que el punto Q (tangencia de la espiral trazada desde O_4 a la línea A) de la figura 4.d representa el punto inicial de movimiento irreversible. En consecuencia, la construcción de un espigón en Q representa la estabilización de todo el tramo de playa situado a su izquierda, frente a los efectos introducidos por el dique $O_2 O_4$ (siempre que las características del espigón implicasen una pantalla prácticamente total frente al transporte longitudinal, incluso con la suficiente capacidad de almacenamiento que requieran los movimientos reversibles).

En la figura 4.d se representan los efectos residuales que se producirían al compensar la acción del dique $O_2 O_4$ mediante la construcción de un sólo espigón en Q. La nueva posición D de la orilla sólo sufre alteración respecto a la posición A, en el ramo $Q D_m P D_n D_4$, siendo muy pequeña en relación a la alteración representada en la figura 4.c. El trazado de las líneas $Q D_m P D_n D_4$ responde al proceso similar al descrito en la figura 6 A y B de (13).

Si se quisiesen eliminar las alteraciones de la figura 4.d, bastaría construir un nuevo espigón que convendría situar en la zona de máxima erosión, que corresponde sensiblemente al punto A_o .

Hay que indicar que el espigón Q puede construirse siguiendo un perfil paralelo al de la línea de máxima pendiente de la playa (no olvidemos que se trata de una playa con una carrera de marea de hasta 5 m.). Sin embargo, debe arrancar con un tramo horizontal ya que debe permitir cierta acumulación de sedimentos bajo la acción de oleajes de componente Norte, sin perder el carácter de barrera prácticamente total.

(Quizá sería ilustrativo añadir que en la hipótesis contraria de quedar O_4 en zona de rotura, el espigón Q resultaría inoperante. Sin embargo, esta hipótesis es incompatible con la condición de que el espigón Q constituya una barrera total frente al transporte longitudi-

(*) Límite de llenado. Recordemos que mientras en «límite de vaciado» el sentido del movimiento del sedimento es de alejamiento del polo (y del obstáculo), en el «límite de llenado» dicho sentido es indiferente, ya que la línea ni se acerca ni se aleja del polo (el sedimento puede no obstante acercarse o alejarse del obstáculo al desplazarse sobre la línea, adaptándose a ella).

dinal de sedimentos, ya que para ello debería alcanzar el límite de la zona de rotura. Y ello haría irreal la figura 4.d, toda vez que el extremo del espigón Q debería estar más avanzado hacia el mar que O₄).

5. SOLUCION PARA KAIMU BEACH (HAWAI)

5.1. Antecedentes

En los Proceedings de la 15th Coastal Engineering Conference, 1976 (pág. 1552 a 1571) Doak C. Cox, Frans Gerritsen y Theodore T. Lee exponen el problema de recesión que presenta la playa encajada de Kaimu (Hawai), así como las diversas soluciones que se han propuesto.

La playa de Kaimu se formó como consecuencia de varias irrupciones de gran cantidad de lava en el mar, que se integraron en el transporte longitudinal de sedimentos, de los cuales cierto volumen se depositó en dicha playa gracias a las condiciones de relativo abrigo existentes en la bahía de Kaimu. Una vez agotada la última fuente de sedimentos se inició un proceso de recesión de la playa de Kaimu, que entre los años 1910, 1938 y 1968 representa un retroceso medio de unos cuatro pies (1,20 m.) por año y una pérdida media de unas 2.000 yardas cúbicas anuales (1.529 m³/año) (figura 6.a, b y c.)

La solución de este problema, propuesta por el COE (Corps of Engineers), se recoge en la figura 6.d y consiste esencialmente en la construcción de un dique recto, sensiblemente paralelo a la orilla, coronado a la cota de la bajamar y en la aportación de unas 30.000 yardas cúbicas (22.937 m³).

Sin embargo, esta solución ofrece graves perjuicios para la práctica del surfing, atractivo fundamental de la playa de Kaimu, razón por la cual el County Council no se decidió a su construcción a pesar de los diez años transcurridos desde que encargara los primeros estudios en 1966.

5.2. Examen de la eficacia de los condicionantes de contorno

Si examinamos las distintas posiciones de la orilla (figura 6.c) a la luz de lo expuesto en (13) podemos afirmar lo siguiente:

a) En 1892 la playa presenta una forma

que debe atribuirse fundamentalmente a condicionantes de caudales sólidos y de *fetch*, si bien los condicionantes de contorno y de fondos frontales indeformables contribuyen con su función de apoyo, siendo prácticamente inoperante su función polar. En consecuencia, la playa debía ser susceptible de rápidos cambios de orientación.

b) La forma de la orilla en 1915 confirma la variabilidad antes presumida. La convexidad del tramo central indica que existe cierta influencia de la función polar de los extremos, sobre dicha orilla, aunque sigue siendo pequeña. El retroceso de la playa entre los años 1892 a 1915 indica que la función de apoyo de los condicionantes de contorno y de los fondos frontales indeformables son insuficientes para mantener la estabilidad volumétrica. Tal retroceso también revela, evidentemente, el agotamiento de la fuente de sedimentos.

c) La forma de la orilla en 1940 sugiere una mayor influencia de los condicionantes de contorno, especialmente un pequeño tramo del extremo N. E. que casi se ajusta a la espiral centrada en el saliente del extremo Sur de la bahía de Kaimu.

d) La forma de la orilla a partir de 1968 se ajusta a la topografía del litoral rocoso (líneas de cotas 0, 5 y 10 pies). La insuficiencia de la función polar del contorno sigue siendo manifiesta (basta recorrer los salientes con el centro de la espiral y ver que no es posible trazar la espiral tangente a la orilla en ningún punto).

5.3. Solución propuesta

Dadas las características topográficas y geológicas de los extremos, resulta sencillo crear artificialmente los salientes que proporcionen a la playa su estabilidad por condicionantes de contorno.

En la figura 7 se indican dos soluciones. En la figura 7.a se propone una solución del tipo expuesto en 4.2.2. y 4.2.3. de (13), que permite la creación de una playa con «estabilidad formal» absoluta. La comparación de esta solución con la propuesta por el COE (figura 6.d) ofrece las siguientes ventajas:

a) La longitud de dique en 7.a es de 1.030 pies (410 + 620) frente a los 1.350 de 6.d.

b) Aunque los dos diques de 7.a deben

coronarse a una cota superior que el dique 6.d, el aumento de volumen de obra queda compensado por la facilidad de construcción. Se puede diseñar la sección de manera que la escollera se vierta directamente con camión prácticamente en su totalidad, debiendo utilizar exclusivamente la grúa para el acabado del manto exterior.

c) La solución 7.a permite la práctica del *surfing*, sea cual sea el nivel de marea.

d) La solución 7.a proporciona una playa en concha, con agradable curvatura y formalmente estable. Por el contrario, la solución 6.d induce una forma rectilínea, pero sujeta a variaciones aleatorias según sea la dirección de la acción de los temporales en las distintas épocas del año. Los efectos del dique sumergido de la solución 6.d. son menos definidos y menos conocidos que los de la solución 7.a, que en definitiva lo que hace es reproducir artificialmente los salientes que motivan la estabilidad formal de innumerables playas naturales.

En la figura 7.B se indica otra solución que requiere menor longitud de los diques, si bien implica cierta movilidad de la playa. Proporciona la estabilidad volumétrica por condicio-

nantes de contorno. Esta segunda solución puede ser aconsejable si se quiere reducir el impacto estético de las obras. En la figura se indican las posiciones extremas de la playa: la espiral de trazo y punto corresponde al polo O_1 y la espiral de trazo y dos puntos corresponde al polo O_2 , representando los máximos efectos de los oleajes del NE y del SO, respectivamente.

Una mayor reducción de cualquiera de los dos diques, o bien su mayor abertura, implicarían una movilidad de la playa presumiblemente inadmisibles para mantener la estabilidad volumétrica, si sólo se contase con los condicionantes de contorno. Sin embargo, es posible que los efectos de la función polar de los fondos de la plataforma litoral (de los cuales no se aportan datos en 14) permitan una solución más abierta. Pero este ajuste de la solución al problema de la playa de Kaimu se escapa del objetivo del presente epígrafe, en el cual lo que se pretende poner de relieve es un ejemplo concreto y real en donde el conocimiento de la función polar de los salientes permite encontrar una solución sencilla y elegante a un problema de ingeniería marítima que se ha mostrado históricamente difícil (14).

Referencias más directamente relacionadas con el tema.

- IRIBARREN, R.: "Corrientes y transportes de arenas originados por el oleaje". (R. de O. P., mayo y junio de 1947, reedición en mayo de 1967).
- LE BLOND, P. H.: "Sobre la formación de playas en espiral". (Proceeding 13th coastal Engineering. 1972, páginas 1331-1345).
- GARAU, C.: "Aplicación de los Principios del Método de los 'planos de oleaje', al Estudio de los movimientos de arena". (R. de O. P., julio, 1973).
- GARAU, C.: "El rozamiento y la estabilidad de las playas". (R. de O. P., agosto, 1973).
- GARAU, C.: "Estabilidad volumétrica y Estabilidad formal. Playas lobuladas". (R. de O. P., diciembre, 1974).
- GARAU, C.: "Ensayos s/ movimiento de arenas al abrigo de un saliente". Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona. Laboratorio de Hidráulica. (Años 1974 y 1975, no publicados).
- GOURLAY, R.: "Sobreelevación inducida por el oleaje. Corrientes generadas al abrigo de un saliente. (Proceedings 14th Coastal Engineering, 1974, pág. 1976 a 1995).
- SILVESTER, R.: "Desarrollo de bahías en forma dentada hacia el equilibrio". (Journal of the waterways and Harbors División, mayo 1979 págs. 275-287).
- SILVESTER, R.: "Stabilization of sedimentary coastlines". (Nature. Vol. 188, pp. 467-469).
- SILVESTER, R.: "Headland Defense of Coasts". (Proceedings 15th Coastal Engineering, 1976).
- TANACA, N. y SATO, S.: "Topographic change resulting from construction of a Harbor on a Sandy beach; Kashiwa Port.". (Proceedings 15th Coastal Engineering, 1976).
- YASSO, W.E.: "Plan Geometry of Headland Bay Beaches". (Journal of Geology, vol. 73, 1965, pp. 702-714).
- GARAU, C.: "Condicionantes de la estabilidad de las playas. Análisis de la función polar de los salientes (R. de O. P., 1980).
- COX, D. C.; GERRITSEN, F., y LEE, T. T.: "Proposed 'Improvement' of Kaimu Beach Hawaii". (Proceedings 15th Coastal Engineering, 1976).
- DAVIES, J. L.: "Wave refraction and the evolution of Shoreline curves". (Geog. Stud. 5 (2), 1-14, 1959).
- DAVIES, J. L.: "Beach alignment in South Australia". (Australian Geogr. 8 (1), 42-4, 1960).

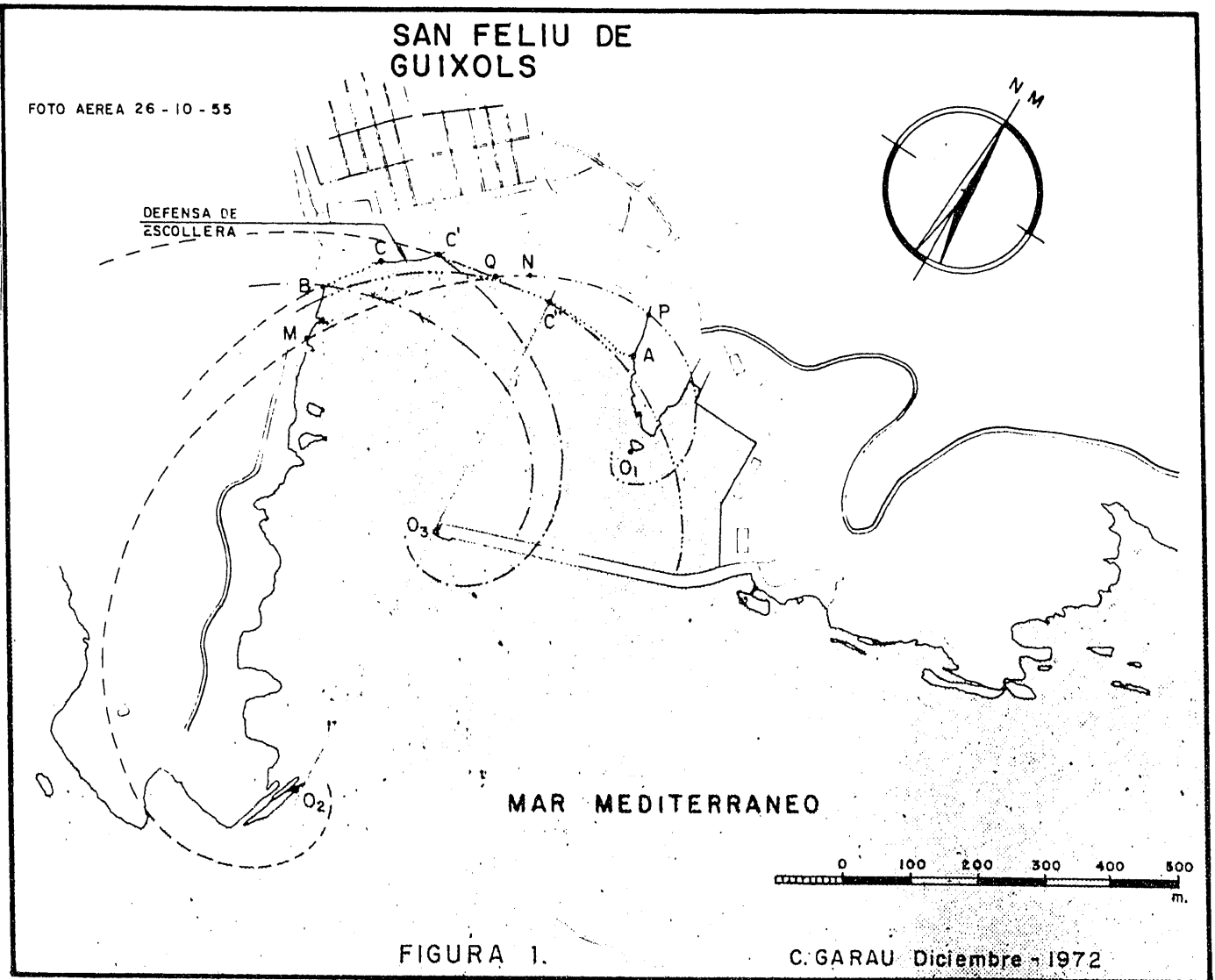
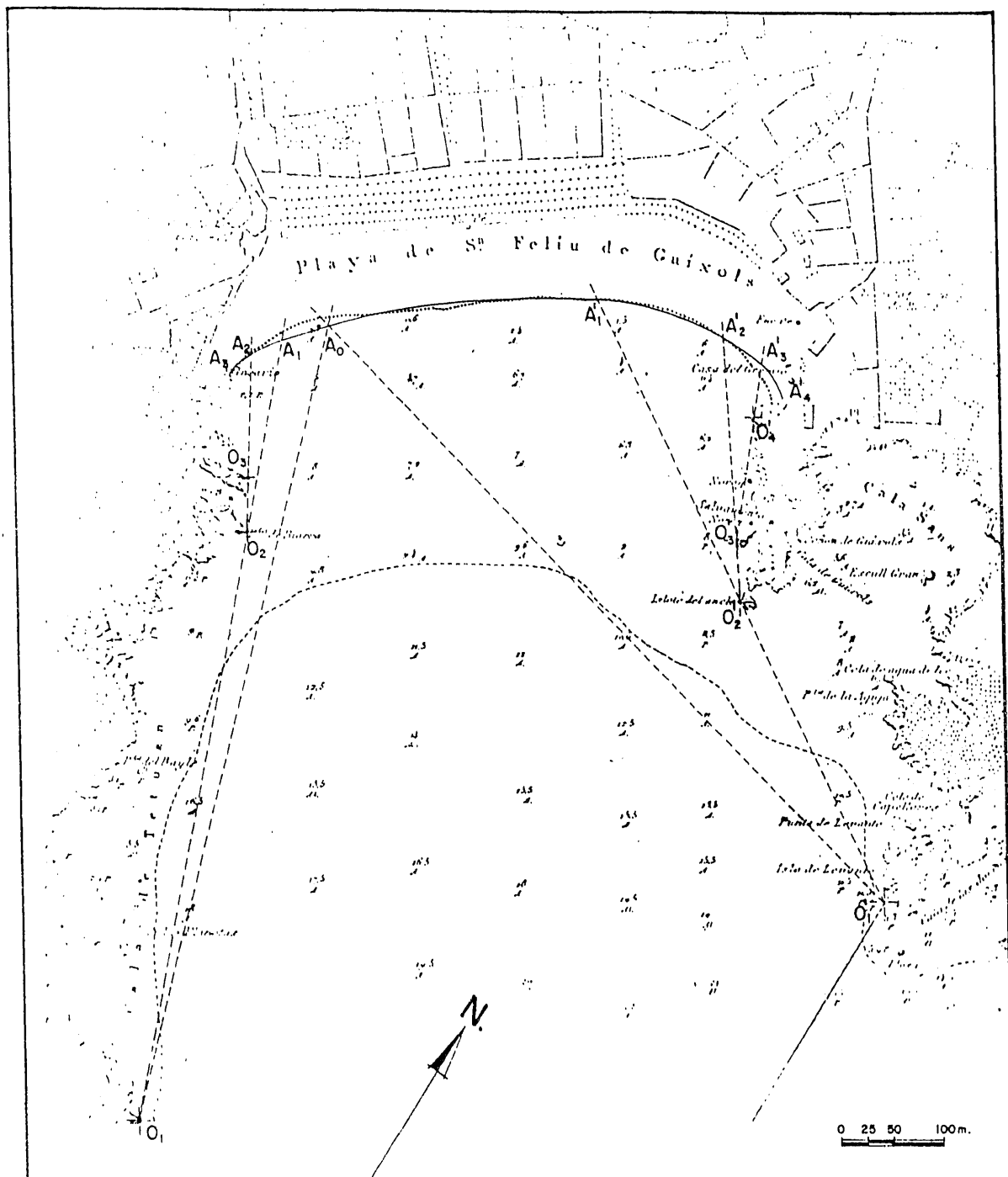


FIGURA 1.

C. GARAU Diciembre - 1972

Nota: La figura 1 reproduce exactamente la figura 4a de (3). La figura 2A se basa en la Carta del Instituto Hidrográfico levantada en el año 1885, utilizándose en ella la notación que más adelante se describe. La figura 2B reproduce el plano de San Feliú de Guixols levantado en el año 1897 y sobre ella se superponen la línea M Q N P de la figura 1 y la línea A₃ A₂ A₁ A₀ A'₁ A'₂ A'₃ A'₄ de la figura 2A. Sin embargo, el error derivado de tener tan sólo en cuenta el polo O₁ en la figura 1 (equivalente al O'₂ de la figura 2.A) y despreciar los polos O'₁, O'₃ y O'₄ de la figura 2.A, es tan pequeño que a la escala del dibujo no es posible apreciar la diferencia entre ambas líneas.

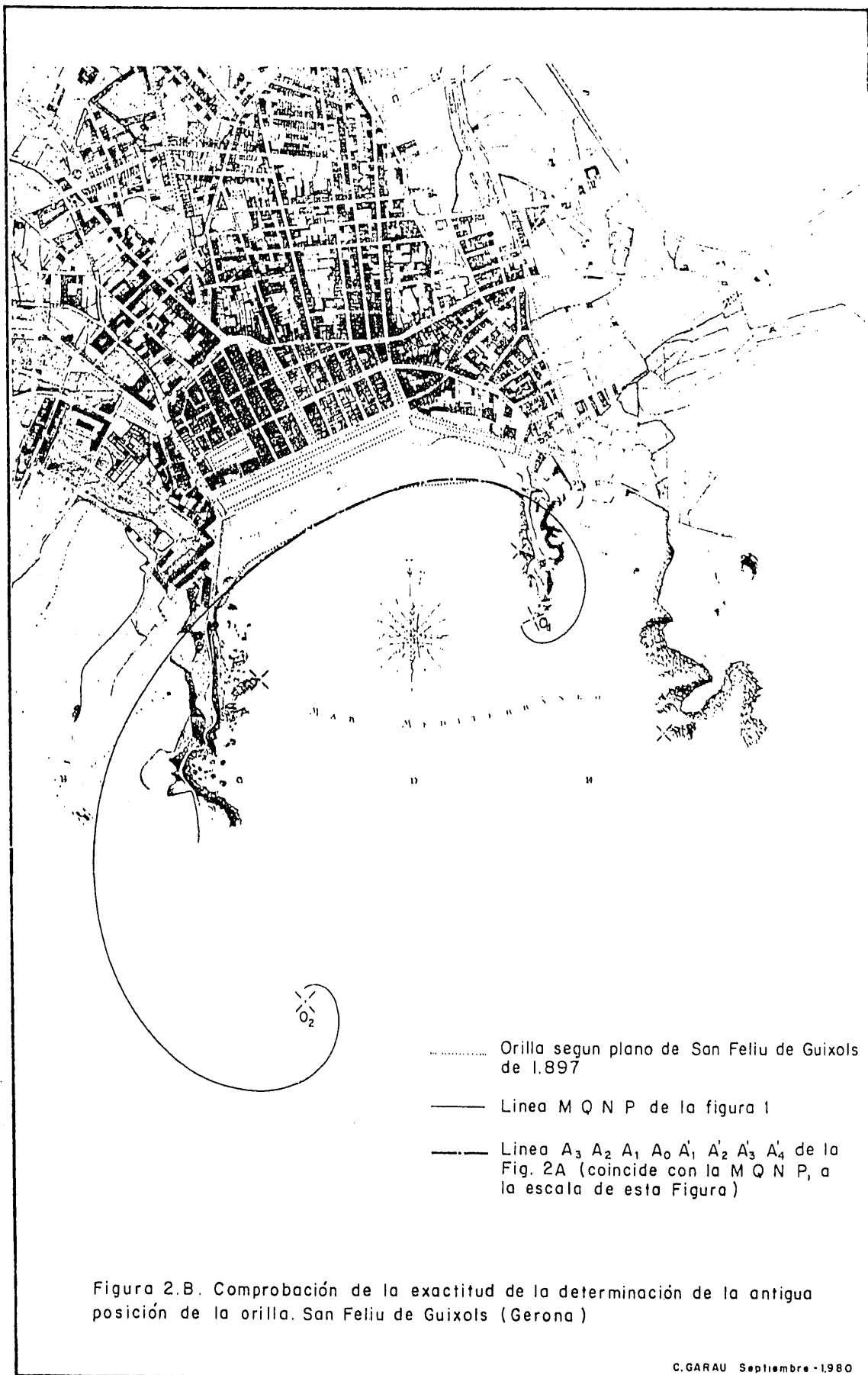


Situación de la Playa de San Feliu de Guixols (Gerona - España), en 1885, antes de construir el dique. Obsérvese el perfecto acoplamiento a sectores de espiral logarítmica ($\psi = 30^\circ$) con centros en los salientes del contorno.

(Datos de la carta marina levantada en 1885 y editada en 1889)

Figura 2.A.

C. GARAU Febrero-1980



Ejemplo de playas cuya forma esta determinada fundamentalmente por condicionantes de contorno. Playas de "El Sardinero" y "El Puntal", en Santander (ESPAÑA). Obsérvese el perfecto acoplamiento a sectores de espiral logaritmica ($\psi = 30^\circ$) con centros en los salientes del litoral. (Sobre fotografia aerea)

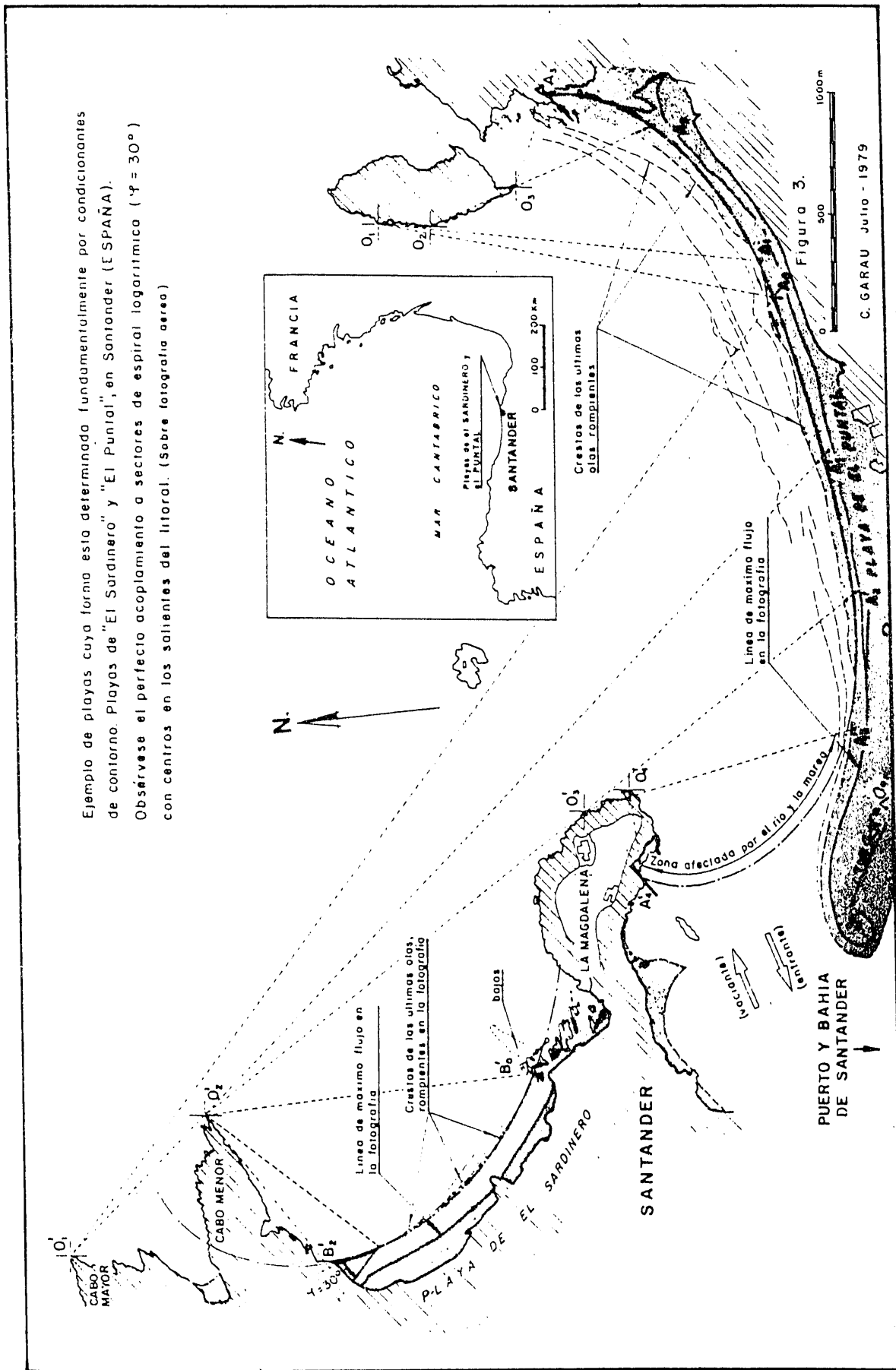
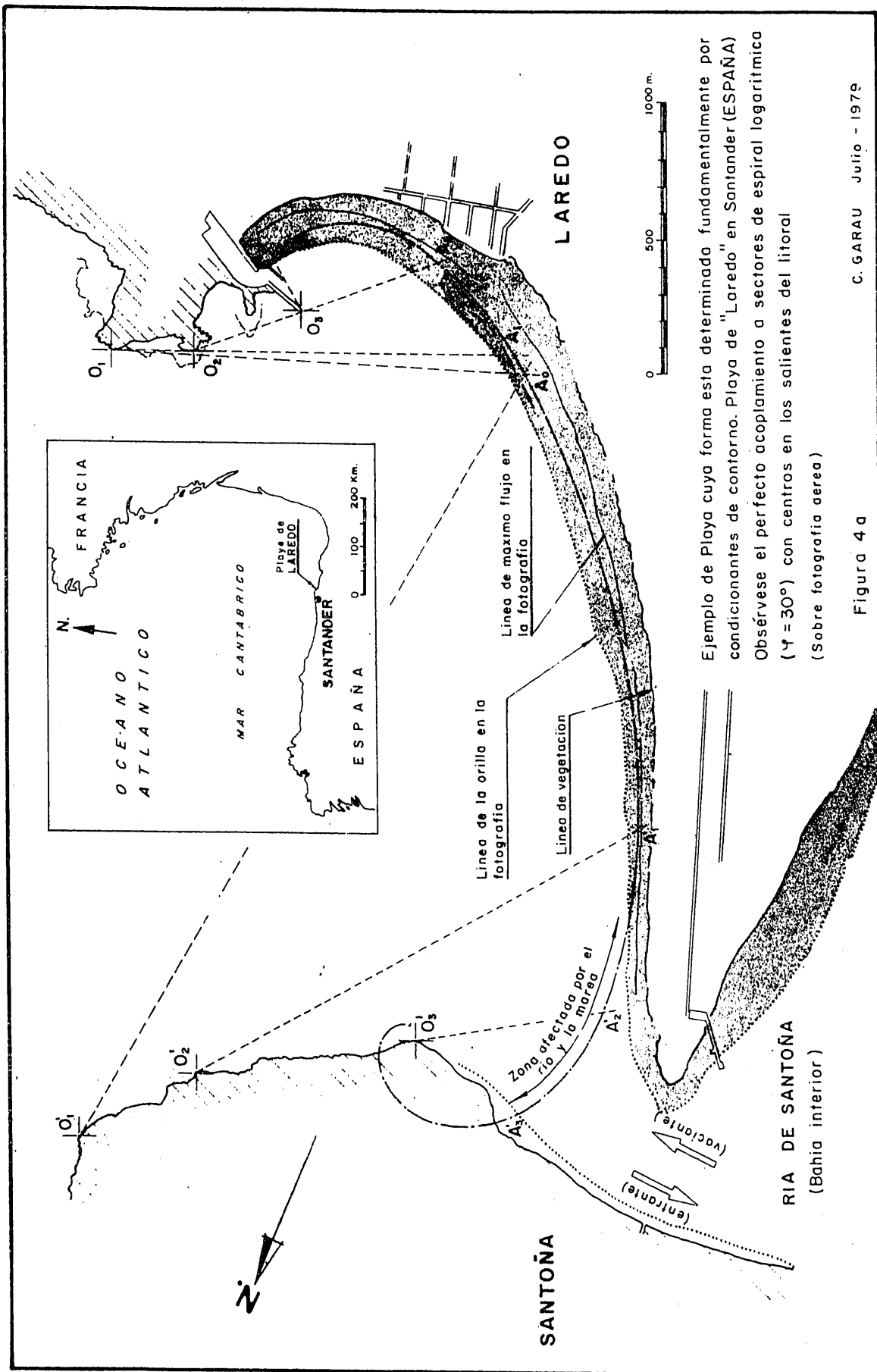


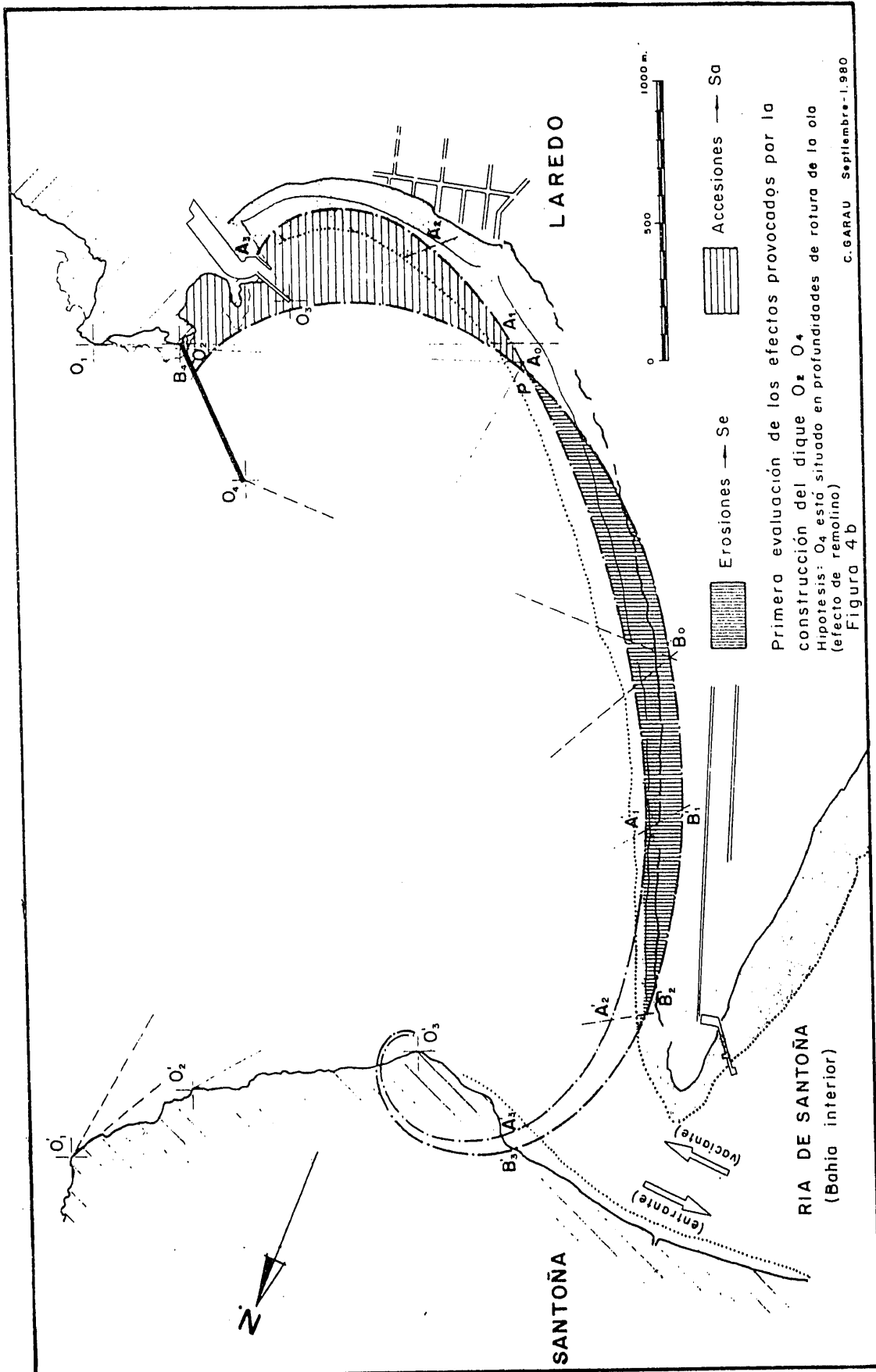
Figura 3.

C. GARAU Julio - 1979



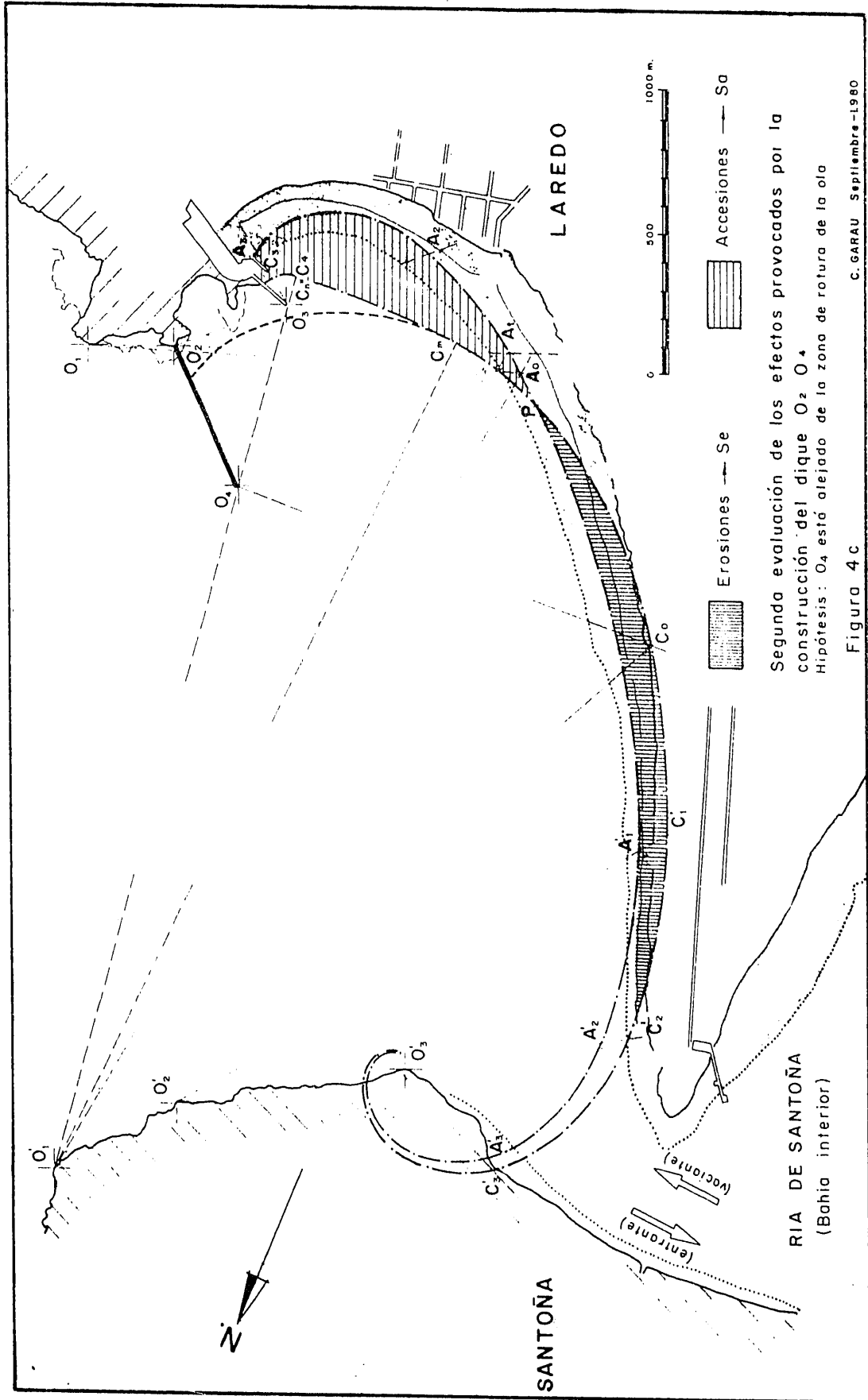
Ejemplo de Playa cuya forma esta determinada fundamentalmente por condicionantes de contorno. Playa de "Laredo" en Santander (ESPAÑA). Obsérvese el perfecto acoplamiento a sectores de espiral logaritmica ($\gamma = 30^\circ$) con centros en los salientes del litoral (Sobre fotografía aerea)

Figura 4 a C. GARAU Julio - 1979



Primera evaluación de los efectos provocados por la construcción del dique O_2 O_4
 Hipotesis: O_4 está situado en profundidades de rotura de la ola (efecto de remolino)
 Figura 4b

C. GARAU Septiembre-1.980



Segunda evaluación de los efectos provocados por la construcción del dique O₂ O₄
 Hipótesis: O₄ está alejado de la zona de rotura de la ola

Figura 4C
 C. GARAU Septiembre-1980

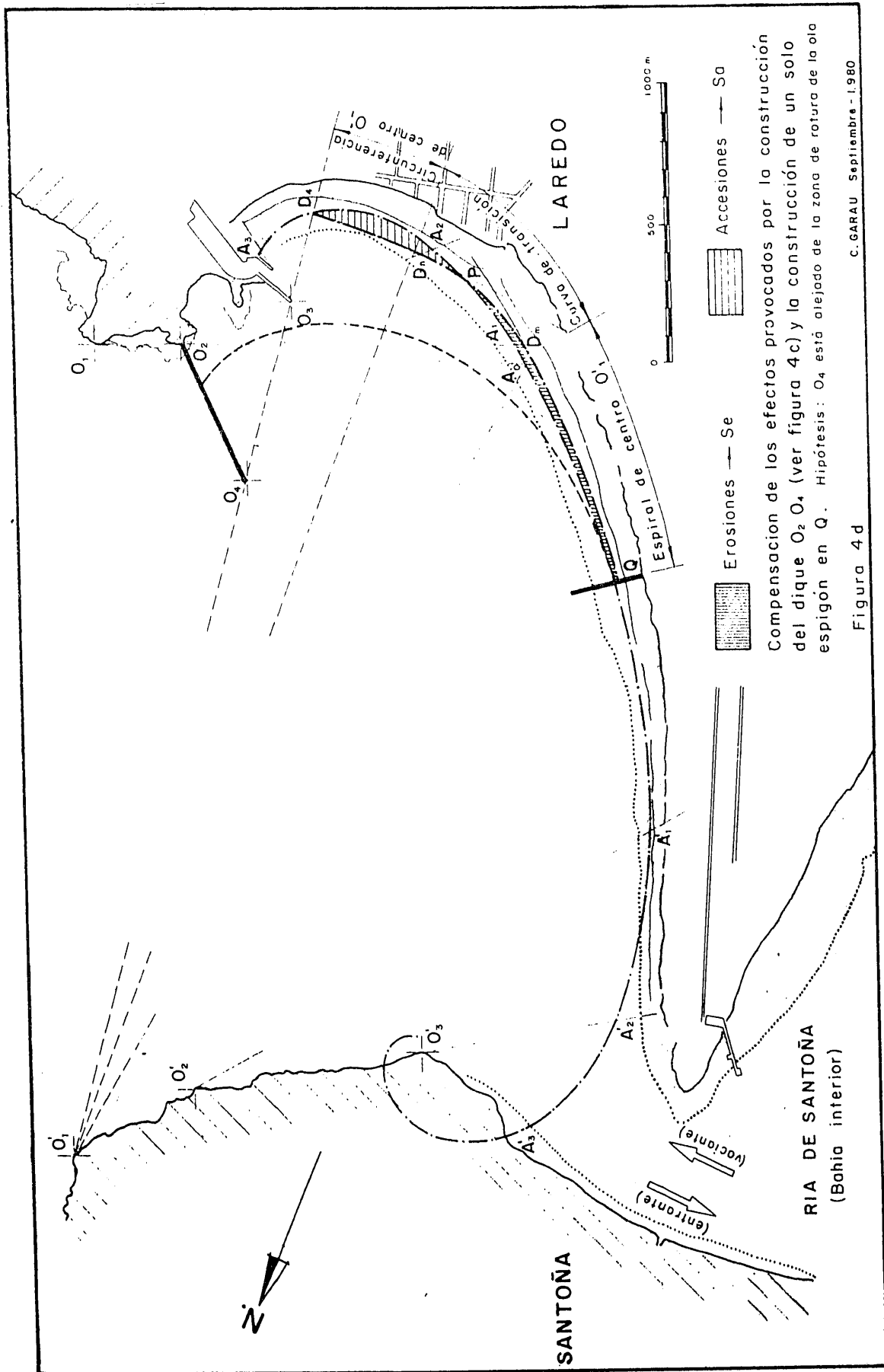


Figura 4d

C. GARAU Septiembre - 1.980

Compensación de los efectos provocados por la construcción del dique O_4 (ver figura 4c) y la construcción de un solo espigón en Q. Hipótesis: O_4 está alejado de la zona de rotura de la ola

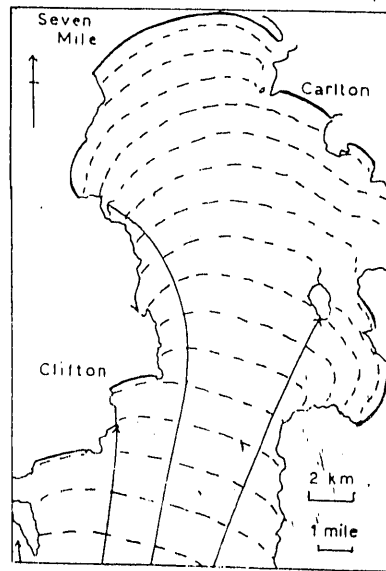


Figura 5.a. Wave refraction diagram to show fit of beach outlines to wave crests in Frederick Henry Bay, south Australia. The waves have a period of 14 seconds and every tenth wave crest is shown. (After Davies, 1960.)

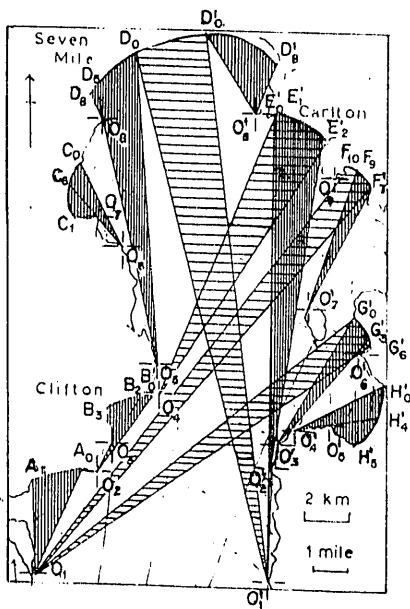




Figura 5.b Examen de las funciones predominantes de los distintos salientes respecto a cada playa (playa A,B,C...H)

O_i = Polos destrorsum

O'_j = Polos sinistrorsum

 = Sector predominantemente adaptado a la acción de oleaje sin refractar

 = Sector predominantemente adaptado a la acción de oleaje refractado

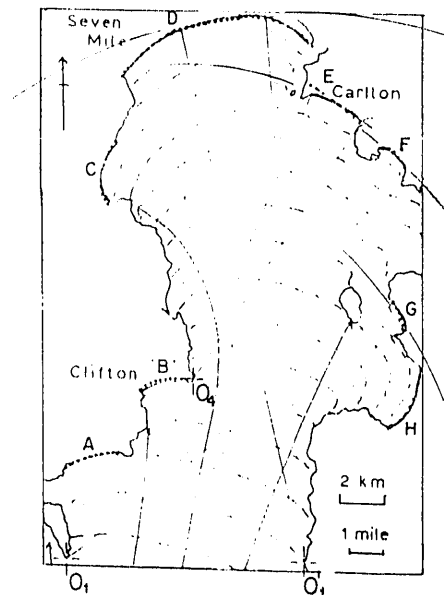


Figura 5.c Comprobación del ajuste de la mayoría de las playas a sectores de espiral ($\psi = 30^\circ$) centrados en los salientes. Ajuste excepcional de los tramos $D_0 D'_0$, $E_0 E'_2$, $F_{10} F_7$ y $G_0 G_3$ a circunferencias de centros O_1 , O_4 , O_1 y O_1 respectivamente (Hiperestabilidad formal por condiciones de contorno)
..... Forma de la orilla trazada por sectores de espiral

Figura. 5 Analisis de la función polar de los salientes respecto a la estabilidad formal de las playas de la bahía Frederick Henry (Australia)



Fig. 6a. Aerial photograph of Kaimu in 1959 (U.S. Navy)

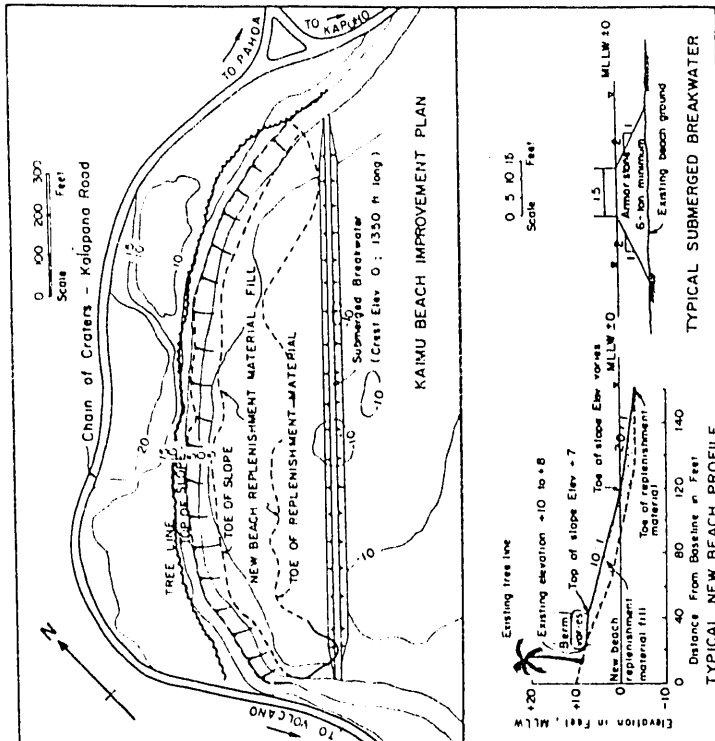


Fig. 6a. Kaimu breakwater as proposed in 1972 and beach enlargement as proposed in 1974

Figura 6. Datos históricos sobre la playa de Kaimu (Hawaii), según D.C.Cox, F.Gerritsen y T.T. Lee (1.1976)

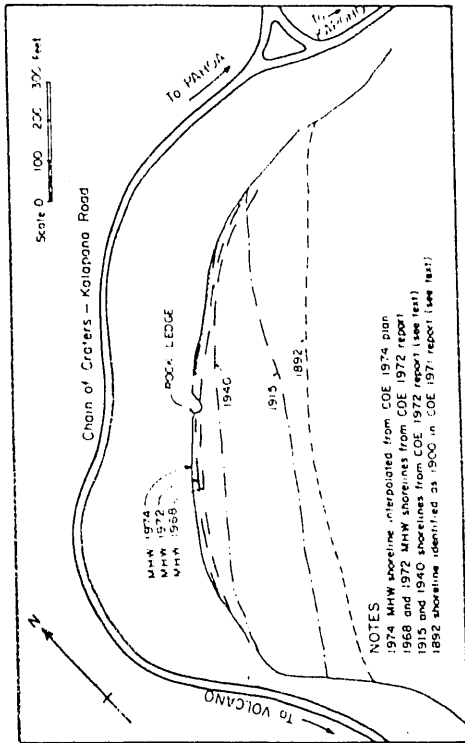


Fig. 6c. Shoreline history of Kaimu Beach

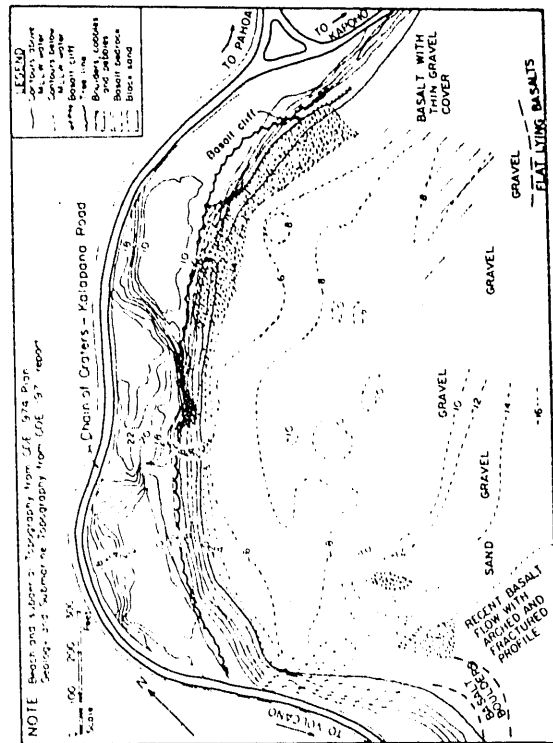


Fig. 6b. Topography and geology of Kaimu Beach

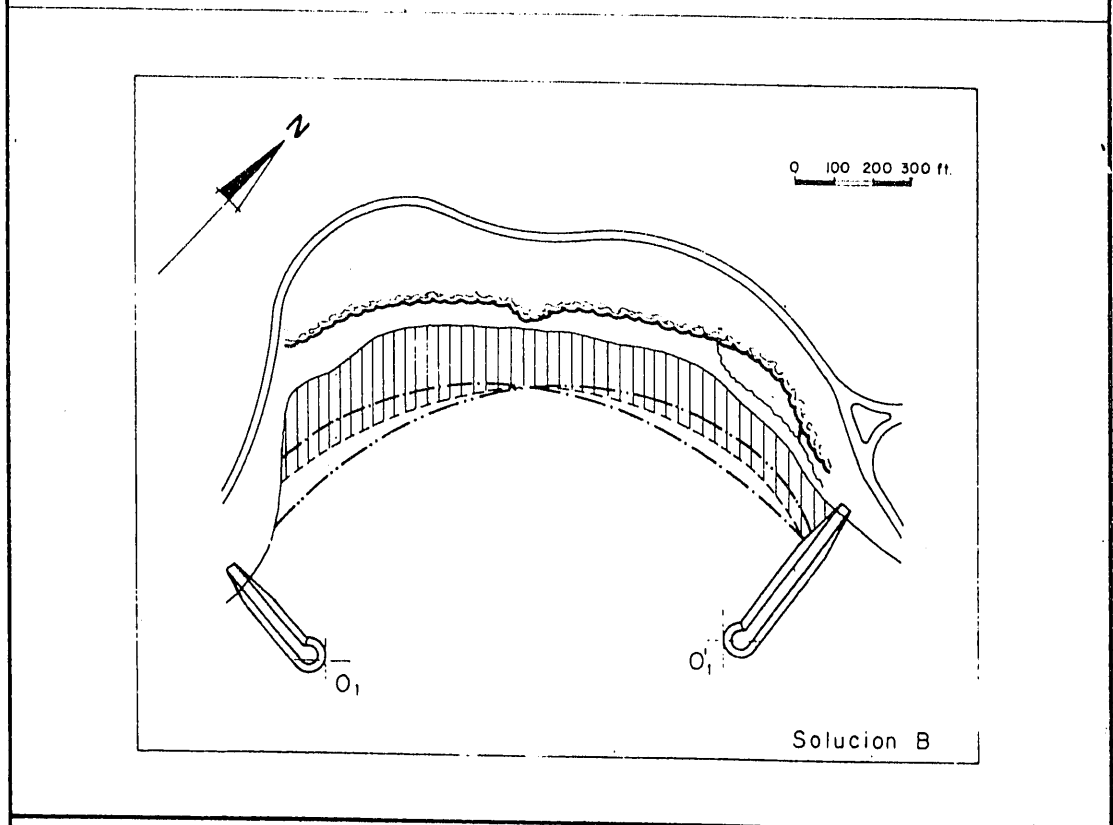
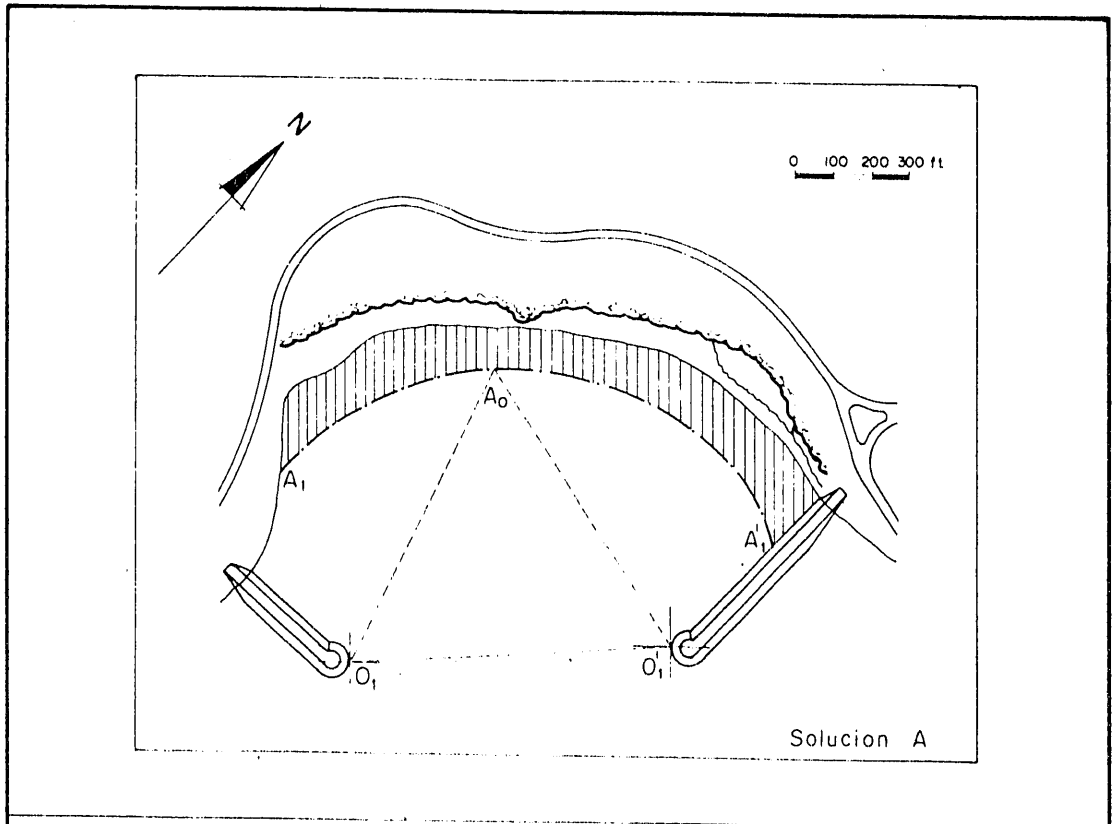


Figura 7. Diseño de obras que permiten estabilizar la playa de Kaimu por condicionantes de contorno.

Solucion A Estabilidad formal

Solucion B Estabilidad volumetrica

C. Garau 1980