

# Pedraplén Caibarién [Mención Iberoamericana] a Cayo Santa María (Cuba)

Autor: Ing. Raúl Lena Martino

Colaborador: Arq. Jorge Mangano Urbay

**RESUMEN.** La necesidad de poner a disposición del desarrollo de Cuba lugares de interés turístico, motivó la decisión del Estado de acometer la construcción de un vial marítimo a Pedraplén que partiendo de los alrededores de la ciudad de Caibarién llegase hasta el Cayo Santa María, alejado 48 Km. de tierra firme. Con ello se logra poner en valor 14 Km. de playas de gran belleza. Se proyectaron 44 puentes a lo largo del trazado con una longitud total de 2235 Km.

**ABSTRACT.** The need to develop further tourist areas in Cuba led to the State's decision to build a causeway from the city of Caibarién to the Cayo Santa Marta Resort, some 48 km away from the coastline. The Cayo Santa Maria resort has 14 km of beaches of outstanding beauty that may now be reached by this causeway. 44 bridges were built on the causeway with a total length of 2235 km.

**A** todo lo largo del tercio central del litoral norte del país, existe una serie de cayos e islotes denominados Los Jardines del Rey, de gran belleza, que permanecen casi vírgenes desde el descubrimiento de Cuba por Cristóbal Colón

**E**l Estado Cubano está enfrascado en el desarrollo de la industria turística del país, que tiene un incuestionable potencial a partir de las bellezas naturales de esta isla del Caribe. La mayoría de ellas pertenecen a playas que se encuentran en estado natural en la cayería.

A todo lo largo del tercio central del litoral norte del país, existe una serie de cayos e islotes denominados Los Jardines del Rey, de gran belleza, que permanecen casi vírgenes desde el descubrimiento de Cuba por Cristóbal Colón. Formando parte de ese conjunto de islotes, al nordeste de la provincia de Villa Clara, existen tres cayos denominados Las Brujas, Enseñachos y Santa María, los que en su totalidad poseen 14 Km de playas de inigualable belleza, pero que solo eran accesibles desde el territorio nacional por vía marítima, por encontrarse a una apreciable distancia de la costa.

La necesidad de poner a disposición del desarrollo de Cuba estos lugares de interés turísticos tan importantes, y el hecho de contar el país con los recursos necesarios para emprender tan magna obra, motivó la decisión del Estado Cubano, de acometer los estudios, investigaciones, proyectos y la construcción de un vial marítimo o Pedraplén, que partiría de los alrededores de la ciudad de Caibarién y llegaría hasta el cayo Santa María, alejado 48 km de tierra firme. Para los constructores constituyó un gran reto, que significaba mucha dedicación, esmero y rigor técnico, ya que se planteaba construir una de las vías más bellas del mundo que atravesaría por encima del mar y por las cayerías, observándose una gran diversidad de la flora y fauna cubana, un ambiente muy saludable y paisajes nunca antes vistos, constituyendo realmente un turismo ecológico maravilloso.

Tomada la decisión de comenzar la construcción, la provincia se dió a la tarea de acometer los estudios, organizando un grupo multidisciplinario de especialistas de distintas ramas y organismos: investigadores, geólogos, biólogos marinos, proyectistas y constructores, para determinar el mejor trazado del vial, con la menor afectación posible al ecosistema de la zona. Entre las fuentes primarias utilizadas se destacan las investigaciones realizadas en años anteriores por la Unión Nacional de Ar-

quitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC) para el proyecto no ejecutado de un vial marítimo que debía unir a Cuba con otro islote de esta misma cayería denominado cayo Frágoso, también con maravillosas playas, pero que se haya aislado geográficamente.

La aprobación de la variante ejecutada obedeció no solo al hecho de poder enlazar en su primera etapa un mayor número de cayos, sino también de permitir su futura prolongación hacia el este, para unirlo con otros numerosos islotes con potenciales turísticos similares, hasta formar un fabuloso circuito de cerca de 400 km, con más de 160 km de playas, valoradas en su mayoría como de primera calidad.

Para la realización correcta de esta obra, única en su tipo por la complejidad de su diseño y su ejecución, así como por los efectos que pudiera producir al entorno, se debió tener en cuenta una serie de consideraciones y recomendaciones que garantizarían la formación de una vía marítima o Pedraplén duradera, de buena estabilidad, con efectos mínimos al medio ambiente, con confort y una agradable visibilidad. El Pedraplén serpentea entre islotes, bordea manglares, atraviesa zonas marítimas cuya profundidad varía de 30 cm hasta 3 ó 4 m, llegando a alcanzar 7 m en el canal más profundo.

Para conservar el intercambio de agua mínimo necesario entre las dos grandes masas de agua que quedan divididas por el Pedraplén y que fluyen intermitentemente de una parte a la otra por efecto de los cambios de mareas, se establecieron una serie de medidas que garantizarían que las modificaciones de estas condiciones fueran las mínimas. Para evitar variaciones en la salinidad y temperatura de las aguas, cambios en la estabilidad de los manglares, modificaciones en la calidad del sustrato del fondo, impedir la acumulación de contaminantes, y garantizar la continuidad de la circulación litoral, se ubicaron y calcularon un número de aberturas suficientes para permitir un intercambio de agua cercano al original, proyectándose 44 puentes a lo largo del trazado, con una longitud total de 2 235 m, lo cual representa un promedio de poco más 50 m por Km, incluyéndose además dos puentes en zonas cercanas a la ciudad de Caibarién, con 64 m de longitud adicionales.



Así, con las experiencias adquiridas días tras días frente a nuevas y más complejas dificultades, se logró construir el Pedraplén de 48km con un volumen de 6.8 millones de metros cúbicos de materiales pétreos, avanzando como promedio 23m por día en jornadas de 10,12 y 14 horas, durante 7 años netos de ejecución. De esta forma se construyó una obra única, como no aparece referenciada ninguna otra similar en la literatura mundial.

De acuerdo con los planes de desarrollo de la cayería, en los 14 Km de playas se podrán ubicar unas 10 000 habitaciones, lo cual generaría una gran fuente de trabajo para la construcción y explotación de los hoteles y la infraestructura hotelera, calculándose en más de 13 000 los nuevos empleos para la provincia de Villa Clara, y principalmente para los municipios y ciudades cercanas a la zona de desarrollo turístico. Por la importancia social y cultural de esta obra para la región y para el país, su funcionalidad, la agradable presencia lograda, y su armónica integración con el paisaje natural circundante, ha sido catalogada como la Obra de Ingeniería del Siglo en la provincia de Villa Clara.

Como expresara el Presidente de Cuba Fidel Castro, en visita efectuada el 29 de septiembre de 1996 a la Empresa "Contingente Campaña de Las Villas" que construyó el pedraplén: "Obras como estas son motivo de admiración y asombro. Millones de personas pasaran por ahí a lo largo del tiempo y millones de personas se asombrarán de lo que ustedes han hecho, aun cuando no sepan en que difíciles condiciones se ha hecho, y en que difíciles circunstancias económicas se ha hecho".

## ANTECEDENTES

Los estudios del proyecto de esta obra, tuvieron como premisa fundamental el anteproyecto del pedraplén a Cayo Frago desde el embarcadero de Camacho, realizado desde 1984 a 1988. Los resultados de estas investigaciones permitió orientar de manera rápida los trabajos. Se analizaron tres variantes de salida al mar hasta un punto común en el trazado, realizándose la evaluación

técnica económica de las mismas, aprobándose la variante más occidental de las tres, la más cercana de la ciudad de Caibarién y más alejada del comedero de aves del bajo de Guaní.

## ESTUDIOS REALIZADOS

Para la formación de la base documental y teórica de este proyecto se realizaron investigaciones para conocer en primer término las condiciones ambientales de la región; otras con el objetivo de conocer las características geológicas del trazado general, de los lugares de ubicación de los puentes, del tipo de rocas de las canteras, así como el conocimiento geodésico necesario para el replanteo y control topográfico de la obra. Entre otras se realizaron las siguientes investigaciones:

- Características del régimen termohalino y de circulación de las aguas en la región, por el Instituto Cubano de Hidrografía (1989-1990).
- Preparación de la base topogeodésica de la zona del trazado, por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (1989).
- Investigaciones geologo-geofísicas para elegir la variante más ventajosa, por el Instituto Cubano de Hidrografía (1989).
- Estudio de las condiciones del ambiente marino, por el Grupo de Proyecto del Pedraplén (1989).
- Particularidades geodinámicas de los fondos del acuatorio donde se ubicó la obra, por el Grupo de Proyecto del Pedraplén (1989-1990).
- Prospección de los materiales de construcción, por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (1989-1991).
- Estudio de la estabilidad del pedraplén, por el Centro de Investigaciones Hidráulicas de la Universidad de la Habana (1990).

Después de un largo período de estudio, los proyectistas trazaron el perfil longitudinal de la vía de acuerdo a criterios de

**E**n Cuba existía poca literatura relacionada con el diseño de pedraplenes, por lo que su análisis se realizó sobre la base de la bibliografía internacional que trata el manejo e inserción en el ecosistema, el problema del oleaje, las costas, los sedimentos, etc.

minimización del impacto ecológico, facilidades constructivas, seguridad y economía. Las principales dificultades se refieren a la elección del lugar por donde se debía salir al mar, por ser la costa una zona de mangles altos con espesores de cieno de 2-4m, y hallarse cerca del bajo de Guaní, que es un comedero tradicional de peces y aves, adonde acuden cada año en su recorrido migratorio, grandes poblaciones del vistoso flamenco rosado. El proyecto final aprobado por el grupo, y ejecutado por la Empresa Constructora de Obras de Ingeniería "Contingente Campaña de Las Villas" ha posibilitado el logro de un vial económico, duradero, estable, seguro, agradable paisajísticamente y sobre todo con el mínimo impacto al ecosistema de la cayería adyacente.

### PROYECTO DEL PEDRAPLÉN

Para la realización de un proyecto de este tipo, en Cuba existía poca literatura relacionada con el diseño de pedraplenes, por lo que su análisis se realizó sobre la base de la bibliografía internacional que trata el manejo e inserción en el ecosistema, el problema del oleaje, las costas, los sedimentos, etc. Se tomó la decisión de que el proyecto de la vía en el acuatorio cumpliera los siguientes requisitos:

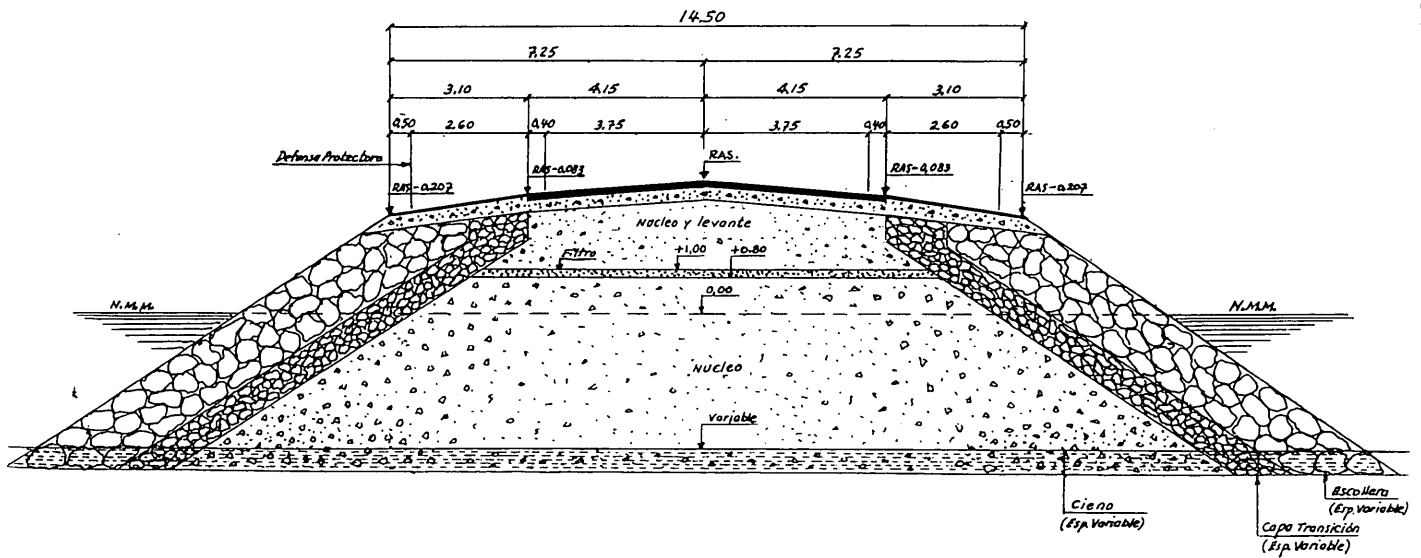
- Que el trazado fuera ubicado por aquellas zonas con la menor potencia de cieno.
- Que el trazado permitiera utilizar la presencia de los bajos y cayos como elementos de protección natural para disipar el oleaje.
- Que en toda su trayectoria, la vía pasara preferentemente por zonas donde no existieran manglares.
- Que al interceptar los canalizos y canales que separan un cayo de otro, la vía pasara lo más alejada posible de su boca de entrada norte.
- Que la ubicación de las obras para el intercambio de agua para las mareas, fuera en los cauces naturales de circulación.

- Que los cálculos hidráulicos para determinar el intercambio de agua a través del pedraplén fueran condicionados a alcanzar velocidades máximas de las corrientes en los puentes de 1.5 m/s.
- Que era necesario integrar la regulación hidráulica que provoca el vial marítimo, al entorno general del acuatorio, teniendo especial cuidado con la influencia que ejerce sobre el litoral de Caibarién, manejándolo de tal manera que provoque mejorías en el mismo, tanto en las aguas como en los procesos sedimentológicos u erosivos.
- Que todas las medidas que se tomen estén avaladas ecológicamente.
- Que los taludes de la obra fueran alcanzables con el volteo directo de los camiones.
- Que la obra fuera suficientemente segura, lo más económica posible y que tuviera niveles de confort de primera categoría.

La planta del trazado por el mar, se seleccionó a partir de los criterios planteados en la fundamentación de la factibilidad, los cuales establecieron que el mismo debía cruzar en todo su trayecto por los lugares de menor profundidad hasta la parte firme del fondo marino, además de no permitir espesores de cieno mayores de 1.50 m en la base, debiéndose dragar los espesores mayores de esa cifra. Por esta causa se dragaron 1200 m al inicio de la obra con espesores de cieno entre 2 y 4 m. Esta es la razón por la cual la vía consta de 23 curvas con radio de curvatura mínimo de 344 m y rectas cuya longitud no sobrepasa 20 veces la velocidad de diseño, que es de 100 km/h, es decir, rectas menores o iguales a dos Km. Se proyectaron 44 puentes los que están ubicados en los puntos naturales de circulación y en aquellos lugares de interés especial.

El perfil de la vía en el mar, fue diseñado para que no sobrepasaran por encima del pedraplén las olas de dos metros de altura generadas por vientos máximos de 220 Km/h, propios de huracanes de gran intensidad, con un 2 % de probabilidad de ocurrencia, y para un 5 % de daños al vial.

Pedraplén Calbarlén a Cayo Santa María



Sección típica del vial marítimo.





La rasante es variable por tramos, en correspondencia con la profundidad del agua y la altura calculada de las olas. La cota máxima en el pedraplén es de 4.15 m sobre el N.M.M, alcanzándose en algunos puentes alturas superiores para permitir el cruce de embarcaciones pesqueras, llegando a casi 8.0 m en los puentes sobre los canales de Los Barcos y Las Guasas. La rasante mínima de 2.15 m está condicionada al paso de una conducción de agua, soterrada, y no a la altura del oleaje, ya que en esta caería la altura máxima de la pleamar es de 0.81 m. El trazado tiene una correcta coordinación planta-perfil y su pendiente máxima de 1.56 % se produce para alcanzar el nivel del puente Canal de los Barcos.

La sección típica del pedraplén, presenta una corona de 14.50 m con un ancho de calzada de 7.50 m y paseos laterales de 3.50 m, que incluyen bandas de reforzamiento de 0.40 m, utilizándose el paseo derecho para la construcción de la conducción de agua de 0.5 m de diámetro. El núcleo central esta compuesto por material rocoso de características apropiadas. La escollera varia en espesor, así como en tamaño y peso de los elementos que la componen, de acuerdo con la altura de la ola en los distintos tramos.

Para la optimización de la estabilidad del proyecto, se sometieron a ensayos algunos modelos físicos a escala reducida, en tres secciones diferentes, por ambos lados y en los morros o estribos de los puentes. Estas simulaciones fueron ejecutadas en el canal de oleaje y la piscina de pruebas del Centro de Investigaciones Hidráulicas de la Universidad de la Habana. La capa intermedia y la escollera cubren ambos taludes proyectados de 1.5:1, hasta los niveles superiores de la obra, para evitar erosiones por trepada de la ola en las grandes tormentas. Para el diseño de la capa de base del vial marítimo se decidió utilizar el material calizo extraído de la cantera de cayo Las Brujas, por las buenas características del mismo. Para el hormigón asfáltico caliente se diseñaron dos capas: la primera semidenso de 6 cm de espesor, cubriendo 8.30 m de la vía, y la segunda denso de 4 cm, cubriendo toda la vía incluyendo los paseos.



### CONSTRUCCIÓN DEL VIAL MARÍTIMO

El 15 de diciembre de 1989 se tiró la primera piedra al mar. A la vista no aparecían señales de cayos; solo el mar abarcaba todo el horizonte; solo se divisaban las torres bajas de los puntos de inflexión de las primeras curvas, donde se colocarían los instrumentos topográficos que guiarían el replanteo del eje del pedraplén. Al comienzo de la obra, a lo largo de 1.200 m antes de salir el pedraplén al mar, se encuentra una franja de mangles altos, sobre un lecho de cieno de 2 a 4 m de espesor, que fue necesario extraer para la ejecución del vial. Se realizó una trocha de 20m de ancho en el manglar, procediéndose al dragado de la misma por medio de una grúa con almeja, montada sobre una patana o plataforma flotante. Esta operación duró aproximadamente 6 meses, por la obsolescencia de la tecnología empleada, rellenándose posteriormente el canal con material pétreo de tamaño adecuado, hasta lograr la estabilidad requerida.

Con las primeras piedras echadas al mar, ya surgieron dificultades para el replanteo topográfico del vial. Se comenzó hincando balizas o jalones situadas cada 20 m en el eje y los laterales; pero cuando la profundidad del agua o la dureza del fondo no permitieron la colocación de este tipo de señales, se recurrió al uso de flotadores anclados al fondo, también cada 20 m. Este método fue efectivo en zonas de poco calado, pues en los lugares de mayor profundidad, la existencia de fuertes vientos y corrientes de agua provocaban oscilaciones excesivas en las boyas, sustituyéndose finalmente esta variante por la colocación de balizas de replanteo por detrás del extremo del pedraplén, cada 10 y 20 m en curvas y rectas respectivamente. Este método se utilizó en el resto de la obra, con muy buenos resultados.

En los inicios de la construcción de la vía, los camiones volteaban las piedras al borde del Pedraplén, empujándose este material a todo lo ancho de la vía cuidando de que las mayores piedras seleccionadas en la cantera, de acuerdo a lo proyectado, se depositaran en los laterales para la protección contra el oleaje. Pronto los constructores determinaron que este no era el método correcto pues se perdía una gran cantidad de piedra de

**E**n los inicios de la construcción de la vía, los camiones volteaban las piedras al borde del Pedraplén, empujándose este material a todo lo ancho de la vía cuidando de que las mayores piedras seleccionadas en la cantera, de acuerdo a lo proyectado, se depositaran en los laterales para la protección contra el oleaje

escollera, que era la más difícil y costosa de extraer y seleccionar y que por su tamaño, la que mayor deterioro provocaba en los volteos de los camiones; además de no colocarse los espesores de filtros y escolleras correctamente, era necesario aplicar un método que tuviera en cuenta los espesores proyectados de escolleras, de la capa intermedia, y del filtro superior en la cota + 0.80 m. Se aplicó entonces un método novedoso que consiste en verter los materiales pétreos al mar de la forma siguiente:

Avanzar con el núcleo adelantado en la punta del Pedraplén unos 10-12 m, volteando el material más fino en la zona central y él más grueso en los laterales, no directamente al mar, sino aproximadamente a 5 m del extremo; y por medio de un bulldózer con la cuchilla levantada a unos 25 cm del suelo, ir avanzando y acarreado el material hacia el mar, a todo lo ancho de la vía con lo cual se debe formar un filtro en la cota + 0.80 m, con las piedras más pequeñas que deja en su avance la cuchilla levantada. Las rocas de mayor tamaño y peso, por la ley de la gravedad, caen primero al fondo, dándole más estabilidad al pedraplén, y formándose así lateralmente una capa de transición con las piedras mayores acarreadas de la forma anteriormente explicada, con espesores entre 1.00-1.20 m, y con el talud natural proyectado de 1.5:1. A una distancia de 10-12 m por detrás se coloca la escollera de grandes piedras con tamaños de 0.80 a 1.00 m y superiores, por medio de bulldózer, que al ser acarreadas, resbalan por el talud formado delante, quedando así ejecutada la escollera con los espesores del proyecto, que en las zonas de mayor oleaje llega a alcanzar un ancho horizontal de más de 4.00 m. La capa de transición descrita se proyectó con el objetivo de evitar la erosión de los materiales más finos del núcleo por las grandes olas, a través de las piedras mayores que componen la escollera.

A los 6 meses de iniciada la obra desde la costa, se abrió un nuevo frente de trabajo en cayo Las Brujas que se encontraba justamente en el Km 38 del trazado, al cual se llegó por medio de patanas remolcadas para llevar los equipos necesarios para la apertura de una nueva cantera estudiada en este cayo. De esta forma se continuó la vía hacia cayo Santa María, distante 10 km al este y situado en el Km 48 y final del proyecto.

Ya conectados entre sí todos los cayos, se volvió a tomar la dirección oeste para buscar el encuentro con el frente que avanzaba desde la costa, llevándose a cabo dicho encuentro el 15 de diciembre de 1994 en un punto ubicado en el km 19.8.

En los alrededores del km 18 del vial, en un tramo de aproximadamente 2 km de longitud, se encontraron espesores de cieno de 1 a 1.5 m. La necesidad de extraer este material, y la existencia de muy poco calado en el lugar (0.5 m), que dificultaba, aplazaba y encarecía en extremo el uso de equipos de dragado para realizar esta operación, condujeron a la aplicación de un nuevo método para la construcción de la obra en esta zona cenagosa. Consiste en ir avanzando en forma de saeta, colocando en la punta piedras de tamaño apropiado, con poco material fino, capaces por su peso de hacer desplazar lateralmente el cieno de la base del pedraplén. Para completar este efecto, el rocoso se acumula directamente sobre el extremo de la saeta, y se apila con un bulldózer de mayor potencia y tamaño, buscando con este aumento del peso sobre la punta que el pedraplén se asentara directamente sobre el lecho de rocas.

La conclusión de la vía en este tramo se realizó con todo éxito, lo cual fue comprobado posteriormente por medio de calas practicadas en la zona analizada. El cieno fue desplazado, emergiendo a la superficie a ambos lados de la vía, formando un cordón de 2 km de longitud, lo que permitió la rápida germinación de las semillas del mangle, que al pasar el tiempo están conformando una verde y bella avenida entre manglares.

Como la construcción del cuerpo del vial marítimo avanzaba más rápidamente que la ejecución los puentes, se hizo necesario construir desvíos provisionales en el mar en las zonas de ubicación de estos últimos, para poder continuar el tiro de materiales con los camiones. Estos desvíos se construían dejando libre el espacio donde se ubicarían las grúas flotantes en los puentes construidos desde el mar, o relleno dicho espacio cuando el puente se cimentaba y montaba desde el mismo cuerpo de la vía. Los desvíos se ejecutaron paralelos al Pedraplén, con un ancho suficiente para permitir el cruce de dos camiones y lo más cercanos posible a su trazado, para facilitar el montaje de las superestructuras de los puentes con las grúas de izaje.

**S**e proyectaron 44 puentes a lo largo del trazado, y 2 fuera de este, a 2 y 5 km de distancia, para mantener la corriente litoral, y mejorar las condiciones hidrodinámicas y ecológicas alrededor de la ciudad de Caibarién, preservando a niveles aceptables el medio ambiente en el ecosistema

El encuentro de ambos frentes se llevó a cabo en el km 19.8, apreciándose claramente el desplazamiento lateral del cieno en este punto de unión. El encuentro se lleva a cabo con una desviación de menos de 1 cm. La obra se ejecutó en dos etapas, la primera con una altura de 1.00 m sobre el nivel medio del mar y la segunda hasta la altura definitiva del proyecto. Esto se hizo con el objetivo de enlazar con rapidez todos aquellos cayos en cuyas playas se había previsto iniciar la construcción de la infraestructura hotelera y hoteles, para un desarrollo acelerado de la zona.

## PROYECTO DE LOS PUENTES

A partir de cartas topográficas y batimétricas, fotos aéreas, marcha rutas con embarcaciones y otros medios, se detectaron de forma preliminar las corrientes marinas, canales y canalizos, así como las profundidades del fondo del mar a lo largo de todo el vial y su área de influencia. Estos estudios permitieron establecer el trazado en planta-perfil del pedraplén, y posibilitó la planificación de las investigaciones oceanográficas específicas que pudieran determinar la hidrodinámica del acuatorio, y la transformación que sufre con la construcción de esta nueva obra.

De acuerdo con esos estudios se dividió la zona en 10 subzonas de intercambio con el objetivo de realizar los cálculos para determinar la abertura necesaria en cada una de ellas y evitar posibles estancamientos del mar, que pudieran provocar aumentos de temperatura, de salinidad, y contaminación en las aguas, y con esto el deterioro de la flora y la fauna que habitan el acuatorio. Estos estudios dieron como resultado que se requería 2.235 m de puentes, los que representan el 5 % de aberturas, considerando que de los 48 km de longitud total que posee el pedraplén, 43.7 km están emplazados dentro del mar. Para ello se proyectaron 44 puentes a lo largo del trazado, y 2 fuera de este, a 2 y 5 km de distancia, para mantener la corriente litoral, y mejorar las condiciones hidrodinámicas y ecológicas alrededor de la ciudad de Caibarién, preservando a niveles aceptables el medio ambiente en el ecosistema.

De los 46 puentes, 26 son del tipo de losa plana, con luz modular de 6 m y longitudes entre 12 y 24 m, ubicados en zonas de menor profundidad con calados cercanos al metro, y donde se requería reducir los valores de la rasante del vial (Foto 11); y 20 puentes de viga-losa con luz modular de 20 y 25 m en las zonas de mayor profundidad del fondo marino y en canales, resultando los más significativos los que atraviesan el Canal de Los Barcos de 350 m., y el Canal de Las Guasas de 245 m., que permiten el paso de embarcaciones pesqueras para operar en la región. Los puentes pequeños fueron diseñados con hormigón armado, utilizándose el hormigón postensado para las vigas de 20-25 m. La solución estructural que se adoptó fue la de puentes isostáticos, con estribos abiertos, y escolleras de protección en los taludes. Se adoptó el principio de utilizar al máximo la prefabricación, para acortar los plazos de ejecución, considerando el peso de los elementos y su adecuación a los equipos de izaje disponibles, así como la protección de los elementos al quedar estos expuestos a un medio de alta agresividad.

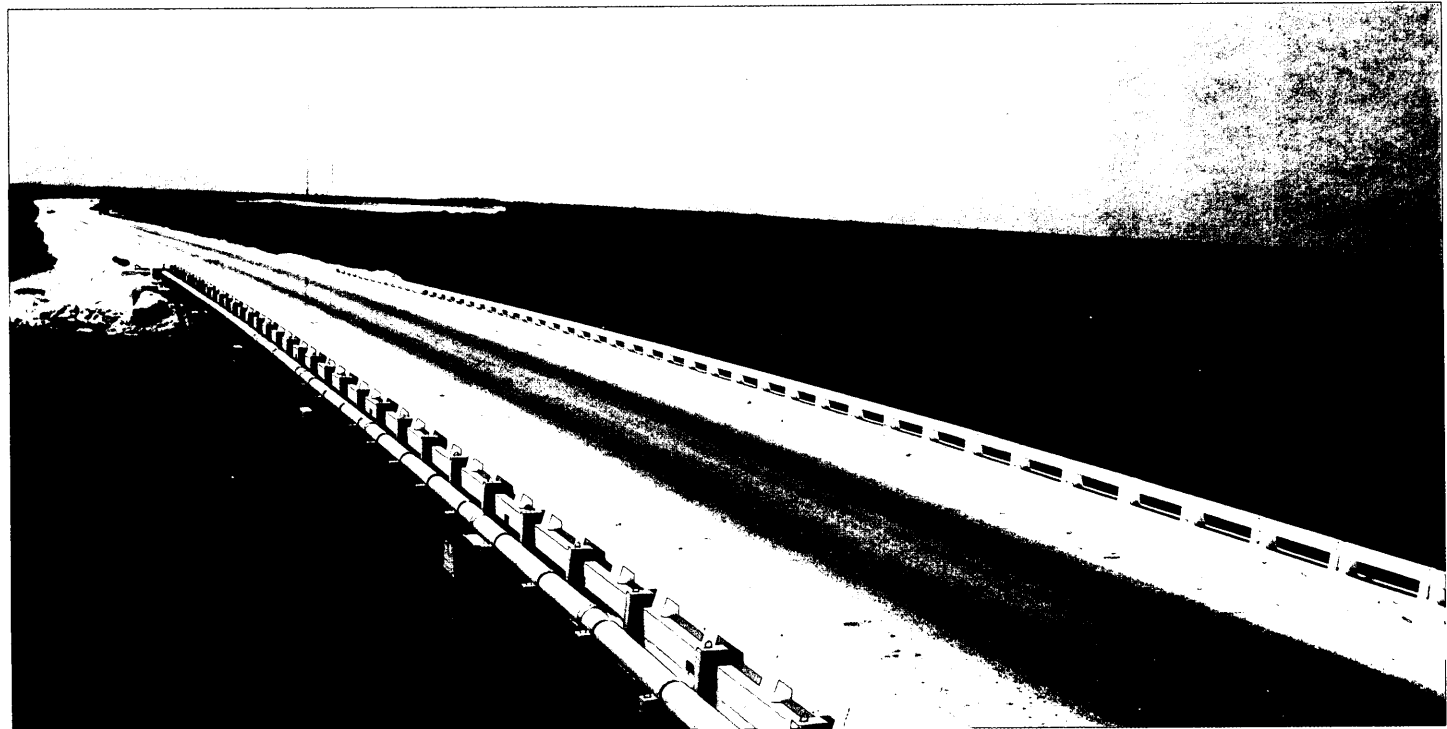
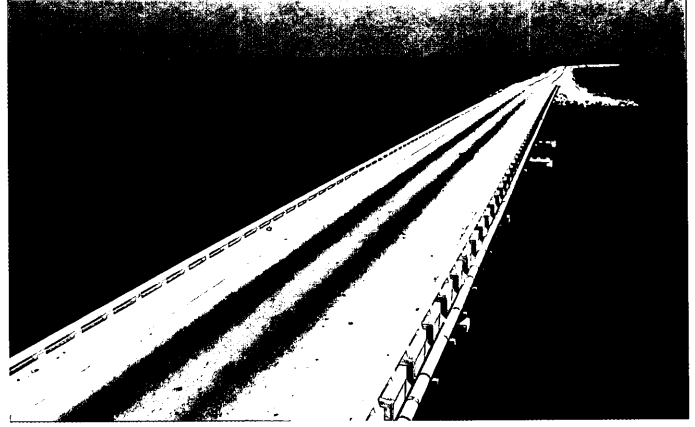
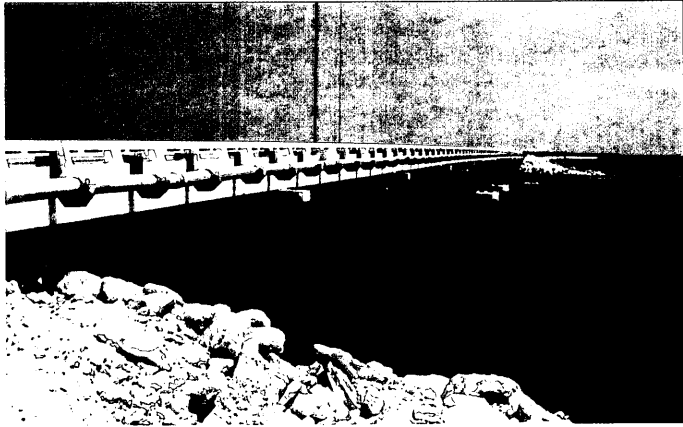
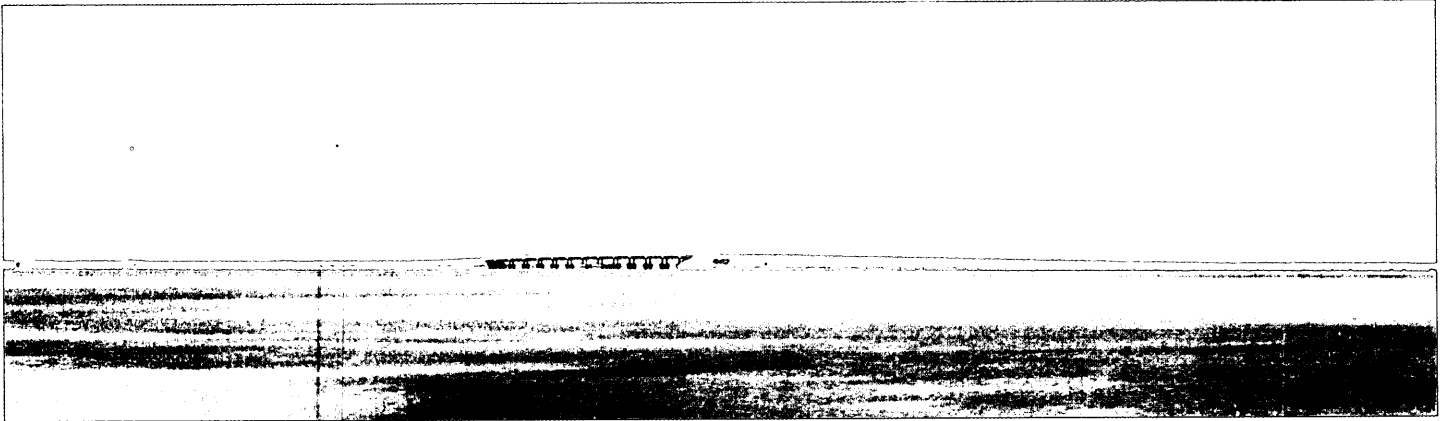
La geología de la zona, formada por depósitos de turba y arenas sueltas con potencias de hasta 2 m., bajo la cual se encontraban suelos calizos con propiedades portantes, permitió para la casi totalidad de los puentes, el empleo de cimentaciones indirectas, utilizándose varios tipos:

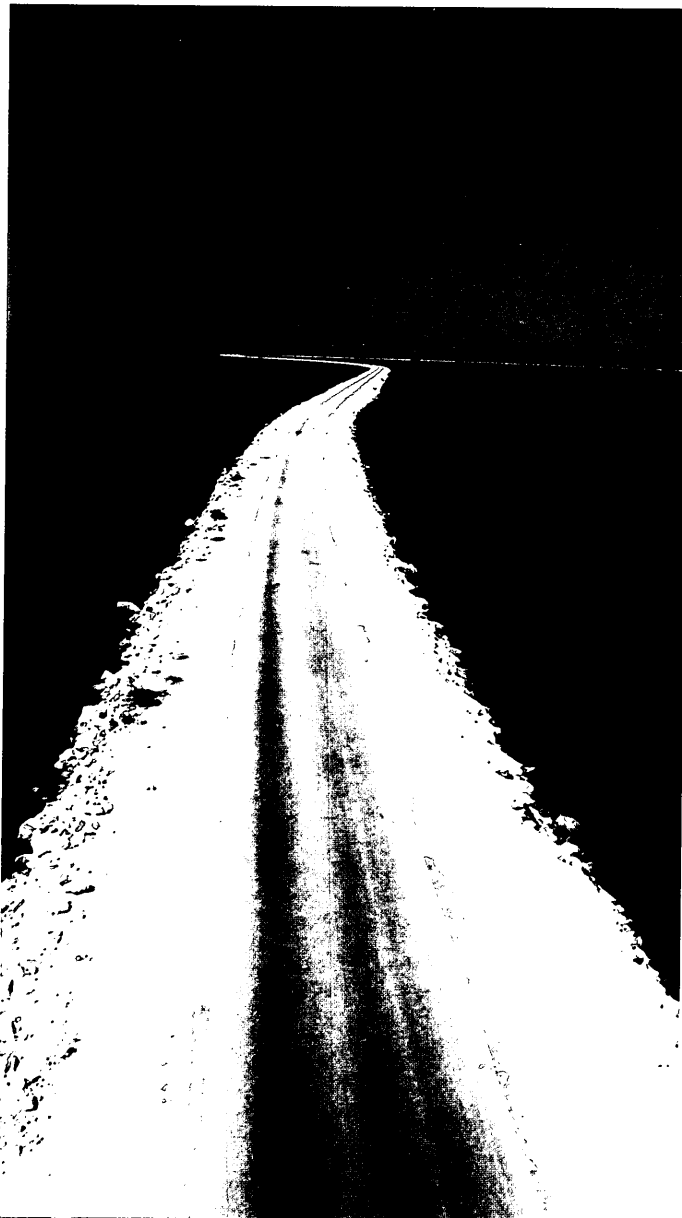
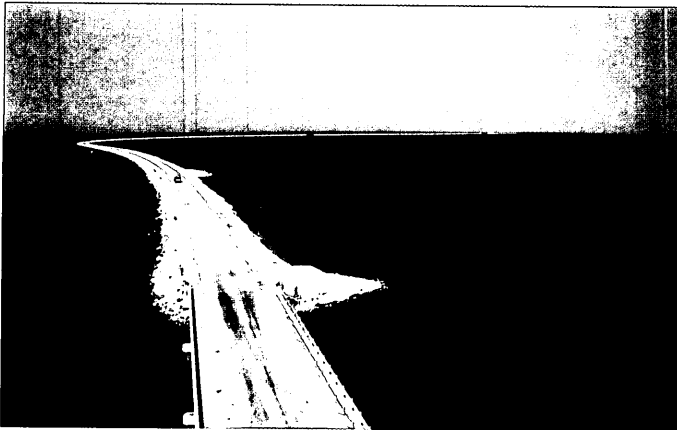
- Pilotes prefabricados hincados, de hormigón armado; o metálicos.
- Pilotes fundidos "in situ", con diámetros entre 0.50 y 0.60 m., ejecutados con perforadoras de percusión; y de diámetros mayores hasta 1.2 m. con perforadoras Benoto.
- En 4 puentes se utilizó la cimentación directa en forma de dados, o tubos de hormigón pre-comprimido de diámetro 1.6 m.

La rasante baja que posee casi toda la longitud del vial, mínima de 2.15 m., permitió adoptar la solución del pilote-columna, eliminando los elementos intermedios de la subestructura, y facilitando mucho la ejecución de dichas obras. Los cabezales o



**Pedraplén Caibarién a Cayo Santa María**





vigas transversales, se fundieron "in situ", con el objetivo de corregir pequeñas desviaciones que se podían producir en el proceso de hincas de los pilotes, y no eran admitidas para la superestructura, totalmente prefabricada. En total se proyectaron 218 cabezales de 14.5 m. de longitud, de los cuales 187 fueron fundidos "in situ", con anchos variables, y 31 prefabricados usados principalmente en el puente de 350 m. sobre el Canal de Los Barcos y en el de 245 m sobre el canal de Las Guasas.

Los puentes fueron diseñados para un ancho total de su tablero de 12.5 m., inferior al ancho total de la vía, que es de 14.5 m., con una calzada de 7.5 m., y paseos por ambos lados. En los puentes de losa plana, su tablero está compuesto por 2 tipos de losas: una extrema de 2.1 m. de ancho; y las interiores de 2.05 m., las que se unen mediante una junta armada longitudinal. Este tipo de solución permitió el paso directo de las cargas, una vez fundidas las juntas, aspecto importante para la ejecución de la obra, al poder continuar a corto plazo el movimiento de tierra.

Los puentes son obras de ingeniería que requieren de una terminación esmerada, y uno de los elementos fundamentales para lograr este objetivo son las defensas laterales de los mismos. Las defensas proyectadas poseen un diseño atractivo y elegante, fueron prefabricadas con sumo cuidado para lograr su objetivo, y su ejecución y terminación así lo demostraron.

## CONSTRUCCIÓN DE LOS PUENTES

Los métodos constructivos varían de acuerdo a la geología del fondo marino, la profundidad del mar, la longitud de los mismos, etc. De forma general se dividieron en dos grupos fundamentales:

- Los que se construyeron totalmente en el mar con equipos marítimos.
- Los que se construyeron a partir de una terraza formada con rellenos que se extraían posteriormente, con el doble propósito de permitir el tránsito de los camiones de volteo y

**U**n aspecto de gran importancia técnica y económica fue la solución al problema del material de base para la vía, que se produce industrialmente como base granular en instalaciones que se encuentran a más de 60 km del emplazamiento del pedraplén

otros medios de transporte, y a su vez poder ejecutar los puentes desde tal terraza con equipamiento terrestre.

La primera opción fue la que presentó mayor complejidad. En ambos casos se construyeron desvíos laterales para facilitar la continuación del avance del pedraplén. En el mar se utilizaron grúas flotantes de 45 ton., auxiliadas por patanas y remolcadores para hincar los pilotes con martillos DELMAG 22, y 44; y para el montaje de los elementos prefabricados, fundamentalmente las vigas de 20-25 m. y los cabezales de los puentes en el Canal de los Barcos, y el Canal de Las Guasas.

También se usaron estas grúas flotantes para la ejecución del puente sobre el Canal de "La U", de 120 m. de largo, en el que una parte del mismo se cimentó sobre pilotes de hormigón prefabricado, y otra sección se realizó con cimentación directa, colocando como apoyo un tubo de hormigón pre-comprimido de 1.6 m. de diámetro y 2.5 m. de longitud, apoyándolo en el estrato soportante previamente nivelado; y vaciándolo posteriormente con hormigón, utilizando el tubo como encofrado perdido.

El puente de mayores dificultades fue el realizado sobre el Canal de Los Barcos, el mayor de Cuba sobre el mar, con 350 m de longitud, con vanos de 25 m. y casi 8 m. de rasante para permitir el cruce de embarcaciones pequeñas de la zona de pesca. Dicho canal tiene una profundidad entre 4 y 7 m, por lo que no se podía utilizar el método de rellenar y después extraer el desvío, al no contar con el equipamiento necesario para dragar o extraer ese gran volumen de relleno, a tiempo de llegar allá el pedraplén que avanzaba desde la costa. Al estar enclavado en el Km 16.5 del trazado, la premisa era que tenía que estar construido al llegar el pedraplén, para poder cruzarlo y seguir avanzando con la ejecución de la vía, o de lo contrario volver atrás el movimiento de tierra, y comenzar a levantar las capas a partir de la cota de 1 m. sobre el NMM, que era la etapa que se venía ejecutando; cosa esta que atrasaría irremediablemente el tiempo planificado para el empate entre las dos direcciones de trabajo opuestas.

Se inició así el mencionado puente utilizando hasta 3 grúas flotantes de 45 ton., patanas auxiliares con hormigoneras monta-

das, dormitorios, cocina-comedor, otras para cargar los elementos prefabricados desde tierra, etc., formando una isla flotante a una distancia tal, que no se divisaba desde tierra. Se replantearon los ejes de los apoyos con pilotes para el control topográfico, y comenzó el proceso de hincado de pilotes metálicos tipo cajón Larsen, los cuales se hincaron a 22 m. como promedio, dada la geología compleja en este punto, formada por varias capas de materiales blandos intercalados con lentes de rocas. Posteriormente se cortaron y enrasaron a los niveles proyectados. Por cada apoyo se construyeron dos piñas, para garantizar el trabajo conjunto de los 5 pilotes; excepto en los estribos, donde se colocaron 6, los cuales se hincaron con martillo diesel DELMAG No 22 y 44. Los pilotes fueron protegidos en la zona de cambios de mareas, que es la más activa de corrosión, por medio de tubos de hormigón refundidos en su interior. Las columnas se fundieron "in situ" encima de las piñas, niveladas a la altura necesaria en cada apoyo, y con las pendientes especificadas por el proyecto. Los cabezales y vigas de 25 m de este puente fueron prefabricados en planta; mientras que la losa del tablero y las defensas laterales combinan técnicas prefabricadas e "in situ".

## CANTERAS

El proyecto de la obra recomendaba la utilización de la cantera de Guajabana, situada en una elevación de igual nombre, a casi 5 km del inicio del vial marítimo, por poseer un material de muy buenas características para este tipo de obras. Esta cantera se encontraba en explotación por otra empresa, extrayéndose volúmenes mínimos que no garantizaban las necesidades iniciales de la obra. A pesar de su relativa cercanía, a medida que avanzaba el vial, se alargaba el ciclo, por lo que para mantener el mismo ritmo de crecimiento, se requería cada vez de mayor número de camiones de volteo, cuyo aumento no fue posible por las difíciles circunstancias económicas que comenzó a atravesar el país en estos años. Por esta razón se estudiaron con carácter urgente dos posibles canteras a instancias de los constructores de la obra en ciertas elevaciones, situadas una cer-

**L**a calidad del medio y la protección ambiental, es la oferta más atractiva que se le brinda al turismo en la cayería nordeste de Villa Clara, mostrándose la naturaleza virgen de estos cayos, con 14 km de playas de una belleza única, y un pedraplén sobre el mar que permite, en sus 48 km de longitud, disfrutar de la contemplación de la flora y la fauna típicas de la región

ca del km 0, en la loma de Sierrezuela; y otra en el km 38, exactamente en cayo Las Brujas. Estas fueron aprobadas después de que concluyeron los estudios ingeniero geológicos y medio ambientales realizados.

Un aspecto de gran importancia técnica y económica fue la solución al problema del material de base para la vía, que se produce industrialmente como base granular en instalaciones que se encuentran a más de 60 km del emplazamiento del pedraplén. La cantera de cayo Las Brujas suministró la base caliza con las características técnicas apropiadas para darle terminación a la obra. También suministró el material del núcleo, filtro y la escollera correspondiente a los Km del 20 al 48, por lo que la puesta en funcionamiento de esta cantera significó un ahorro apreciable de recursos y tiempo.

## CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE

De gran importancia resulta el cuidado y la protección del medio ambiente en los lugares donde el hombre modifica la naturaleza con fines turísticos, que pudieran ser afectados por cualquier error producido tanto en la proyección como en la ejecución de la obra, trayendo consigo posibles migraciones o extinciones de la fauna y daños a la flora que habitan en el acuatorio de la zona. La calidad del medio y la protección ambiental, es la oferta más atractiva que se le brinda al turismo en la cayería nordeste de Villa Clara, mostrándose la naturaleza virgen de estos cayos, con 14 km de playas de una belleza única, y un pedraplén sobre el mar que permite, en sus 48 km de longitud, disfrutar de la contemplación de la flora y la fauna típicas de la región, en paisajes irrepetibles e inolvidables, donde resalta el verdor de los manglares y las verdeazules transparencias de las aguas.

Antes del inicio de la obra se formó un grupo multidisciplinario de especialistas con el objetivo de estudiar las condiciones del ambiente marino, se multiplicaron los esfuerzos para la realización de estos estudios, se analizaron datos suministrados por los pescadores conocedores de la zona y por las empresas pesqueras de langostas y peces, se recopilaron datos sobre las alteracio-

nes provocadas por las siguientes fuentes de contaminación de la zona que vertían sus desechos al mar: 4 centrales azucareras, 2 ciudades, 2 centros porcinos, 1 fábrica de torula y varias actividades agrícolas.

Identificar dichas fuentes de contaminación y los estudios sobre el medio marítimo propiciaron la creación de una serie de medidas durante el proyecto y la construcción para evitar que esta situación se agravara, y simultáneamente reactivar la circulación y el recambio de las aguas con el objetivo de mejorar en gran medida sus condiciones, hasta lograr la recuperación de la calidad existente en décadas anteriores.

Las medidas adoptadas en el proyecto y la construcción más importantes fueron:

- No cruzar el trazado por encima o muy cerca del bajo de GUANI donde existe una colonia de flamencos rosados, otras aves, crías de camarones etc.
- No atravesar los manglares a menos que fuera imprescindible, ya que las crías de distintas especies de peces se protegen de los depredadores en sus raíces, comenzando así la cadena alimentaria.
- Proyecto y ejecución de un canal de más 500 m de largo y 20 m de ancho con un puente sobre una vía existente a 3 km de la obra para activar la circulación en la ensenada de Las Varas en Caibarién.
- Proyecto y ejecución de un puente de 40 m sobre el canal de La Sortija a 5 km de la obra para activar la circulación de las aguas del litoral de Caibarién.
- Proyecto y ejecución de un puente en la costa en el Km 2.7 del Pedraplén de 60 m de longitud, con 30 m en tierra y 30 m en el mar, construido para no cortar la corriente en el litoral e impedir que se acumulen en el pedraplén materias contaminantes, desperdicios arrastrados por el mar, algas marinas, etc.
- Proyectar y construir los puentes en los cauces de canales y canalizos entre los cayos para no interrumpir las corrientes naturales de los mismos, que son zonas de migración de los peces.



- Se coordinó con proyectistas y ecólogos la prioridad de construcción de los puentes de acuerdo con las zonas donde pudieran presentarse afectaciones significativas por el cruce del pedraplén.
- Se situaron 15 puntos de monitoreos para analizar la evolución de la biodiversidad marina en la zona a ambos lados del pedraplén.
- Dragados de los canales naturales del bajo de GUANI, rectificando sus cauces y estabilizando sus bordes con siembras de mangles.
- Facilitar la entrada de agua oceánica por el extremo noreste de la bahía de Buenavista.
- Calcular el gasto de intercambio en los puentes con velocidades máximas de 1.5 m/s.
- Resolver el tratamiento de los contaminantes de toda la región.
- Construir pases de tubos en los desvíos de los puentes con el objetivo de mantener un intercambio mínimo hasta que extrajera el material de relleno y se restituyera la corriente natural.
- Se tomó la decisión de no hacer muelles en cayo Las Brujas para desembarcar los equipos de construcción, localizándose una zona de arrecifes al nivel de las patanas.
- Se coordinó con el Ministerio de Ciencia, Tecnología, y Medio Ambiente (CITMA) para trasladar los Ligus Fasciatus (caracoles de colores), cuyo hábitat es el matorral o monte de los cayos, de la zona de explotación de la cantera a otra parte del cayo no afectada.
- Se recordaba periódicamente a los constructores la importancia de preservar la flora y la fauna en las áreas de construcción, lo cual potenciaba la educación medioambiental de los trabajadores.

De lo anterior se desprende que cuando existe la voluntad de proteger y cuidar el medio ambiente aun construyéndose obras de gran magnitud e incidencia sobre éste, el hombre puede lograr resultados positivos y alentadores que nos hagan disfrutar del paisaje, manteniéndose el mismo hábitat de los animales y vegetales que la naturaleza dispuso.

La obra está cumpliendo sus objetivos económicos y turísticos. Asimismo, el comportamiento del Pedraplén es conforme a lo previsto.

#### RESEÑA BIBLIOGRÁFICA

La bibliografía consultada para conocer las soluciones a aplicar fundamentalmente en la proyección del pedraplén fue muy necesaria, ya que en nuestro país existía poca documentación para analizar este tipo de obra.

Se consultaron libros cuyos autores abordaban aspectos sobre las formas y metodologías para el diseño de pedraplenes, cálculo de la ola máxima, la protección con escolleras, las erosiones producidas, etc.

La literatura fundamental utilizada fue la siguiente:

- 1- Manual de Diseño de Obras Viales. Sección A. Hidrotécnica. Tema 2. Capítulo 13, editado por la Comisión Federal de Electricidad de México.

Utilizado en el desarrollo del cálculo de la escollera, con todos sus elementos principales, como son el pronóstico del oleaje de diseño, reservas a emplear, coeficiente de estabilidad, etc.

- 2- Shore Protection Manual. Vol 2. Año 1984. (IV Ed.) Department of the US Army Corps of Engineers. Washington DC.

Se utilizó principalmente en las bases teóricas aportadas para el cálculo de las aberturas necesarias a dejar con la construcción de los puentes en el trazado del pedraplén.

- 3- D.B. King. 1974

Sobre las dinámicas de las bahías y sus bocas de entrada.

- 4- Abe, S.R.- Rip Rap design for over topping flow: Embankments protection. Colorado State. Univ. Collins, USA, 1991-972 p.

Además se utilizaron las Normas Cubanas para el diseño de viales:

- NC-53-02-87
- NC-53-110-90
- RC-3020