

## EL ECUADOR EN EL CONSEJO DE SEGURIDAD DE LAS NACIONES UNIDAS

*Dr. Jorge W. Villacrés Moscoso.*

La República del Ecuador se ha revelado a través de su historia diplomática internacional, como un Estado con vocación integracionista, hacia las organizaciones internacionales.

Así, como integró la Unión Panamericana desde 1890 que luego se denominaría Organización de los Estados Americanos; cuando nació la Sociedad de las Naciones, después de la Primera Guerra Mundial, desde 1937 también el Ecuador fue miembro de la misma, ocupando destacadas posiciones en dicho Organismo, con delegados como el Dr. Gonzalo Zaldumbide y Dr. Antonio J. Quevedo,

Después de la Segunda Guerra Mundial, al ser estructuradas las Naciones Unidas en 1945, en ese mismo año, en Diciembre, nuestro país dió su adhesión a la nueva Organización, habiendo designado para ocupar la representación ecuatoriana, a distinguidos diplomáticos, que han dado prestigio a nuestro país, por sus intervenciones, en las Asambleas Generales, como fue el caso que hizo dicha Asamblea en el

mes de Octubre de 1973, en la persona del Dr. Lopoldo Benitez Vinuesa, para que la presida.

Anteriormente el Ecuador fue nominado por los Estados de la América Latina para ocupar un puesto, en su representación en el Consejo de Seguridad en 1950-1951 y en 1960-1961, habiendo tenido magníficas actuaciones cuando se presentaron para su solución algunos graves problemas a dicho Organismo.

Algunas tesis de origen ecuatoriano han sido llevadas por nuestros delegados para ser aplicados en determinados casos, por ese organismo internacional como son las Naciones Unidas, habiendo inclusive designado un ciudadano ecuatoriano, para que aplique dichos principios, en el propio lugar, como han sido los casos en el Líbano, en Chipre y en el Congo, encomendados para su solución al Sr. Galo Plaza Lasso.

Para integrar el plantel de funcionarios, las Naciones Unidas también ha llamado a colaborar, en distintos cargos, y algunos de categoría, a ecuatorianos, que tanto en los aspectos político, jurídico, económico como administrativo, han desempeñado durante muchos años, cargos de responsabilidad, demostrando su capacidad y magnífico proceder.

En 1990 nuevamente el Ecuador, fue elegido, ahora por tercera ocasión, por los Estados Latinoamericanos, su candidato para miembro del Consejo de Seguridad, lo cual constituyó un rotundo triunfo en su ya larga trayectoria en dicho Organismo, de la cual damos una síntesis en las siguientes páginas

## Iniciativas ecuatorianas en los diversos organismos de las Naciones Unidas.

La Asamblea de las Naciones Unidas, fue testigo desde 1948, como la Delegación del Ecuador, en su sesión ordinaria celebrada en París, se preocupó más que cualquier otra del Grupo Latinoamericano, en abogar por el establecimiento de los planes de asistencia técnica y ayuda financiera por parte del Organismo Mundial a los países subdesarrollados, bajo el novísimo concepto de la Doctrina de la Seguridad Económica Colectiva.

La asistencia técnica y la ayuda financiera, constituyen factores esenciales en los que depende el futuro engrandecimiento de los pueblos infradesarrollados, en sus aspectos agrícola, industrial, minero y social, grupo de pueblos en los que están incluidos, naturalmente, los latinoamericanos.

Artífices de esta gran obra, en el seno de la Comisión Económica, la Asamblea de las Naciones Unidas, fueron, desde 1948, los doctores Rodrigo Jácome Moscoso y Teodoro Alvarado Olea, distinguido economista guayaquileño, quien, particularmente, en la sesión del 17 de octubre de 1951, se convirtió en el portavoz de los países latinoamericanos, para que el programa de las Naciones Unidas, en materia de asistencia técnica y ayuda financiera llegara hacia ellos, como países infradesarrollados que son y como había sido el propósito inicial de sus inspiradores, entre otros países Chile y el Ecuador.

El Consejo de Seguridad tiene la responsabilidad principal del mantenimiento de la paz y de la seguridad internacional. Los Miembros de las Naciones Unidas reconocen que, en cumplimiento de los deberes que le impone esta responsabilidad, el Consejo de Seguridad actúa en nombre de todos. El Consejo puede investigar sobre todo diferen-

do diferendo que podría amenazar el mantenimiento de la paz y de la seguridad internacionales y puede recomendar procedimientos o los mismos términos de arreglo.

En 1960, integrando el Ecuador el Consejo de Seguridad, por segunda vez, dicho Organismo aceptó por unanimidad, entre las diversas soluciones jurídicas propuestas en el problema del Congo, la Doctrina igualmente ecuatoriana que, sustentando que las Naciones Unidas es el máximo Organismo determinado por la Carta, para velar por la seguridad colectiva internacional, era la más llamada a asumir el control de las bases estratégicas que Bélgica, trataba de retener para sí, en Kamina y Kitona, en el territorio del recientemente creado Estado del Congo, al haber impuesto dicha condición a este último país, previa a la concesión de su independencia.

Además, como un homenaje a nuestro país, que siempre se ha mostrado como uno de los más celosos guardianes de la autoridad de las Naciones Unidas, el Consejo de Seguridad designó al Sr. Galo Plaza Lasso, ex-presidente de la República, para que presidiera la Delegación de la Organización que envió al Congo, a fin de que recibiera de Bélgica las antes mencionadas bases de Kamina y Kitona y estudiaran en el terreno la verdadera situación de las mismas, a fin de elaborar el definitivo Estatuto Jurídico que las ampararía en el futuro.

Esta era la segunda vez, que un latinoamericano cumplía una misión de tanta importancia, encargada por las Naciones Unidas, en un continente lejano, si recordamos que en 1958, el mismo señor Plaza, es encargado por el Consejo de Seguridad, para que investigara las denuncias del Gobierno Libanés, que los Estados vecinos, como la República Árabe Unida, trataba de derribar al Gobierno legítimamente constituido, por intermedio de conspiraciones a base de elementos revolucionarios libaneses, armados por el Cairo.

Las Naciones Unidas, después de estudiar estas quejas, designaron al ex-presidente ecuatoriano, para que, además de estudiar las denuncias de Líbano contra la República Árabe Unida, controlara conjuntamente con tropas destacadas de las Naciones Unidas, entre las cuales habían ecuatorianos, la evacuación de las tropas norteamericanas del Líbano y en fin, restableciera la armonía y la paz en el Medio Oriente.

El señor Plaza, tal como lo había realizado en el Líbano y en el Congo, llevó a cabo una labor admirable en el caso Chipre.

En su misión de paz, el señor Plaza se esforzó hasta conseguir una tregua efectiva entre griegos y turcos. Una vez lograda, para la opinión del Mediador, habrá que buscar la solución definitiva.

El señor Galo Plaza, en su calidad de Alto Comisario de las Naciones Unidas, cumplió plenamente su cometido que le fuera confiado por ese Organismo Internacional. Las bases estratégicas de Kamina y Kitona fueron puestas bajo la jurisdicción de las Naciones Unidas por algunos meses y luego traspasadas al Gobierno de la República el Congo.

El Consejo Económico y Social, funcionando bajo la autoridad de la Asamblea General, provocó estudios y recomendaciones en lo que convenía a cuestiones internacionales en los dominios económicos y sociales. El Consejo hace recomendaciones a fin de asegurar el respeto efectivo de los derechos del hombre y de las libertades fundamentales para todos; prepara proyectos de convención y convoca conferencias internacionales a tratar de cuestiones económicas y sociales, y, por último, coordina la actividad de las instituciones especializadas dependientes de las Naciones Unidas.

El Consejo se compone de 18 Miembros, elegidos por la Asamblea General por un período de tres años; conforme a su Reglamento Interno, el Consejo se reúne al menos dos veces por año en sesión ordinaria y puede reunirse en sesión extraordinaria cada vez que esto sea necesario. Las decisiones del consejo son adoptadas a la simple mayoría de votos.

Fue en el recinto del Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas, reunido con ocasión de la celebración de la Primera Asamblea General de la Organización, en la ciudad de Londres, en el mes de Febrero de 1946, cuando la delegación del Ecuador planteó por primera vez uno de los problemas fundamentales que aquejan la economía de los países latinoamericanos y por ende la situación social de los pueblos, como es el problema del equitativo ajuste de los precios en el mercado internacional.

Este problema consiste en lo siguiente; Mientras los países altamente industrializados, pagan precios bajos por los productos primarios, originarios de Latinoamérica, en cambio, nos obligan pagar por sus productos manufacturados que nos venden, precios muy altos, creándose así una manifiesta disparidad entre los unos y los otros, que revelan la existencia de una profunda injusticia, en la que no guardan relación los precios de las materias primas con los productos manufacturados, por lo cual es necesario compensar esta desigualdad, estableciendo la necesaria equidad entre los mismos.

El Ecuador, solicitó tanto en la Asamblea como en el Consejo Económico y Social, que el estudio de este problema sea incluido en la agenda de la proyectada Conferencia del Comercio y del Empleo, que por esos días se gestionaba convocar por parte de las Naciones Unidas y que se reunió en 1948, en la Habana.

El Consejo Económico y Social, en sesiones celebradas los días 8 y 11 de Febrero de 1946, conoció el asunto y resolvió favorablemente la petición de la delegación ecuatoriana, no sin antes haber tenido lugar uno de los más largos y ardorosos debates del consejo, en el cual intervinieron los representantes de las grandes potencias industriales europeas y de los Estados Unidos, impugnando que se acogiera en la agenda el antes referido asunto.

Luego, después de la Conferencia Mundial del Comercio y del Empleo, reunida en la Habana, en 1948 y en las sucesivas Asambleas de las Naciones Unidas y de sus organismos especializados, se ha tratado de este problema, siendo defendido en cuanto a su tesis, que, por primera vez sustentó el Ecuador en Londres, por los diversos países latinoamericanos.

Pero, es en la Conferencia Interamericana de Bogotá, cuando el Ecuador se mostró el más celoso defensor de la Carta de las Naciones Unidas de sus Organos representativos.

En esta Conferencia, efectuada de conformidad con el Sistema Regional Panamericano, se elaboraron entre otros documentos, el Tratado Interamericano de Soluciones Pacíficas, conocido más bien con el nombre de "Pacto de Bogotá" y el Convenio Económico.

Los Delegados de algunos países americanos, sustentaron en aquella ocasión, acorde a los acontecimientos imperantes en esos momentos en el campo internacional, reforzar en su máximo el Sistema Regional Interamericano, debilitando al mismo tiempo sus nexos con el Sistema Universal, la Comunidad Internacional; es decir, en una palabra, aislar, alejar el Continente del resto del Mundo, desconexionándolo del Sistema Universal de las Naciones Unidas.

Esta tendencia que se diseñaba con caracteres evidentemente peligrosos para las naciones latinoamericanas, pronto fue advertida por la Delegación del Ecuador y su Canciller, Dr. Antonio Parra Velasco, hizo un llamamiento a la Conferencia para que se mantenga un criterio universalista dentro del Sistema Panamericano.

Luego agregó: "Parece conveniente que los Estados Miembros del Organismo Regional Americano, conserven dentro de la mayor amplitud posible, sin mayor limitación que la que se origina en la disposición de la Carta ya citada, el derecho de elegir, en un momento dado, el sistema del arreglo pacífico de sus controversias que en cada caso mejor entienden convenirles, acudiendo ya sea al Sistema de las Naciones Unidas, ya sea a los procedimientos pacíficos del Sistema Regional Americano.

Por último abordó el punto fundamental: "Nada en el Pacto dijo el Delegado Ecuatoriano debe poner trabas al libre ejercicio en el Continente americano por parte de los Organos de las Naciones Unidas, de la acción que les compete de acuerdo con las estipulaciones de la Carta".

Estipular que las Naciones Unidas, para realizar la labor que le incumbe a esa Organización, ha de utilizar necesariamente los Organos del Sistema Interamericano, equivaldría en cierto modo, a encerrar a nuestros Estados dentro del Continente, no sólo ladeando las disposiciones de la Carta de las Naciones Unidas, sino perjudicando grandemente a los estados pequeños que, por su importancia menor no tienen como otros, acceso directo a los órganos llamados a estudiar y resolver los problemas mundiales".

Es decir, que el Ecuador defendió en primer término la primacía de las Naciones Unidas, como Organismo Universal de Paz y Seguridad, por lo que teniendo este carácter, no podía ser interferido en su acción internacional por el Sistema Interamericano, que es solamente de tipo regional, como lo reconoce la propia Carta, en otras palabras: Que el Organismo Regional Americano realice su labor de cooperación regional en buena hora, pero que no se obstaculice en forma alguna, la acción paralela de los Organos de las Naciones Unidas, que obran con criterio universal.

El Dr. Vicente Trujillo, actuó en calidad de Presidente de nuestra Delegación ante las Naciones Unidas, representó a nuestro país en el Consejo de Seguridad de dicho Organismo; pero, especialmente el gran honor que se le dispensó a nuestro país, cuando nos representaba este ilustre internacionalista, fue el hecho de que los países de América Latina lo eligieron Presidente de su Grupo en las Naciones Unidas.

Y, fue así como el Delegado ecuatoriano logró imponerse, inclusive entre los Embajadores de las Cinco Grandes Potencias, no porque su país o el Grupo Latinoamericano, representasen una fuerza militar o política decisiva en los destinos del Mundo, sino más bien por la gran capacidad, inteligencia y sobre todo el tino con que guió las actuaciones del Grupo Latinoamericano, en los diversos y complejos problemas internacionales, a tal extremo, fue tan coherente, tan sólida la posición de este Grupo y casi siempre magníficas las intervenciones de los integrantes del mismo, que los Representantes de las Cinco Potencias siempre que tenían que actuar en la Asamblea, en algún asunto fundamental, consultaban y pedían previamente el apoyo del Grupo Latinoamericano, a través de su digno Presidente Dr. Trujillo.

Entonces, las Naciones Unidas, prácticamente, giraban alrededor de América Latina, cuyas delegaciones representaban aproximadamente la tercera parte del conjunto de los Miembros de la ONU.

Creo, que la década del cincuenta y dos fue la fase más afortunada de las Naciones Unidas. Era Secretario General Dag Hammarskjold, el único Gran Secretario que ha tenido las Naciones Unidas en gran parte a las dotes de diplomático del Dr. Trujillo.

Rusia estaba representada por el Embajador S.K. Tsarapkin y cuando se convocaba a la Asamblea General acudían Vyshinsky o Molótov.

América Latina favoreció a que se abrieran de par en par las puertas de las NN.UU., ingresando un considerable número de países que hasta ahora llegan a más de un centenar y medio.

El Dr. Trujillo logró captar la simpatía general del Grupo Latinoamericano, por su talento, su don de gentes y particularmente por su vasta experiencia diplomática.

### Secretario de las Naciones Unidas U Tant, estuvo en Guayaquil, en 1966, en tránsito a Nueva York.

El Secretario General de las Naciones Unidas, estuvo el 30 de Agosto de 1966, en Guayaquil, en tránsito abordo del Jet de Lufthansa, que lo transportaba. Llegó la nave a las 1,15 de la tarde, y mientras se re-provisionó de combustible, el distinguido viajero saltó a tierra para recibir el saludo de las autoridades locales, permaneciendo en la Suite Presidencial del Aeropuerto Internacional, alrededor de 50 minutos.

Con el Secretario General de la ONU, viajaban también el Subsecretario de Asuntos Políticos Especiales, señor José Roiz Bennett, el Ataché de Prensa de U Thant, señor Ramsé Nassiff y otros miembros de la comitiva, que estaban cumpliendo un plan de visitas a los países latinoamericanos. De Chile regresaba U Thant, inaugurando el edificio en donde estaban instaladas las dependencias de la CEPAL.

Nuestro Embajador ante las Naciones Unidas, Lcdo. Leopoldo Benítez Vinuesa, hizo las presentaciones del caso en el momento en que U Thant abandonó el Jet de Lufthansa que aterrizó en la pista del Aeropuerto. Las autoridades, funcionarios y autoridades, estrecharon la mano de U Thant, que a todos correspondió cordialmente a través del interprete.

El Alcalde de Guayaquil, señor Roberto Serrano Rolando, sin intervención del interprete entregó a U Thant, un especial, Acuerdo de su paso por Guayaquil, consistente en un fino sombrero de paja toquilla, explicándole el origen de esta industria nacional.

Los catedráticos y estudiantes de la Escuela de Diplomacia, entre ellos el Dr. Jorge W. Villacrés, charlarón a través del interprete sobre tópicos relacionados con este Centro Educativo y pidieron a U Thant posar junto a ellos, lo que así se hizo.

U Thant y su comitiva reanudó su viaje rumbo al Norte del continente siendo despedido por las autoridades locales.

## Visita del Secretario General de las Naciones Unidas, Waldheim, al Ecuador.

El día 21 de Marzo de 1973, llegó a Guayaquil, de paso para Quito, el señor Kurt Waldheim, Secretario General de la Organización de las Naciones Unidas, en visita oficial, por expresa invitación del Gobierno ecuatoriano.

El señor Waldheim, que llegó al Ecuador como invitado de Honor por el Gobierno y, para realzar con su presencia la inauguración del XV Período de Sesiones de la Comisión Económica. Nació el 21 de Diciembre de 1928, en Austria. Su padre fue un inspector de Escuelas en Viena. Cuando cursaba sus estudios secundarios, se decidió por la carrera diplomática y comenzó sus estudios en la Academia Consular en Viena. Luego, se graduó como Doctor en Jurisprudencia en la Universidad de Viena. Sus estudios, sin embargo, fueron interrumpidos por la Segunda Guerra Mundial, pues peleó contra el ejército alemán en el frente ruso, hasta que fue herido en 1942. Por ello, retornó a Viena, donde terminó sus estudios, ocupando varios cargos en el Servicio Exterior de su país.

Waldheim, es el prototipo del diplomático continental. Diplomático bien entrenado y decididamente muy trabajador, es el forjador de la política de neutralidad que ha caracterizado a Austria.

En su sesión de clausura del 26. Período de Sesiones, la Asamblea General de la ONU, nombró a Kurt Waldheim, atendiendo a una recomendación del Consejo de Seguridad, como Secretario General para un período de cinco años a partir del 1 de Enero de 1972.

Waldheim habló en el pleno de la CEPAL, al abrirse propiamente el XV Período Ordinario de Sesiones, acto que se efectuó en el Palacio de la Legislatura, al cual concurrió para honrarlo el Jefe de Estado General Guillermo Rodríguez Lara.

### **Licenciado Benítez, Representante del Ecuador, es elegido Presidente de la Asamblea General de las Naciones Unidas.**

El día 18 de Septiembre de 1973, en Nueva York, en la sede de las Naciones Unidas, en un ambiente de gran expectativa, se reunió el XXVIII Período de Sesiones de la Asamblea General de las Naciones Unidas, en la sede del Organismo en la ciudad de Nueva York.

El presidente saliente, el polaco Stalislaw Trepeczinski, dió lectura a su Informe y acto seguido, se guardó el clásico minuto de silencio para dedicarlo a la meditación o a la oración, en el curso de la cual toda la sala se puso de pie.

Repartidas las Cédulas de Votación, siendo designados estructuradores los representantes de Etiopía y Checoslovaquia, por parte del Presidente.

Iniciada la votación, cada Jefe de Delegación pasó a dejar su voto y, al finalizar este acto, se proclamó el resultado, obteniendo 129 votos el Lcdo. Benites y un voto, el representante de Sri Lanka, señor Hamilton Amerasingue.

Cabe anotar, que el cargo de Presidente de la Asamblea de las Naciones Unidas, es puramente honorífico. Benites se convirtió en el noveno representante de la América Latina que presidía la Asamblea General.

Benites, hizo una exhortación en favor de la abolición de las armas nucleares, lo que se interpretó como una alusión no sólo a Francia y China, sino también a la Unión Soviética y a los Estados Unidos. Benites, dijo que, a pesar del Tratado de Moscú de 1963, el que abolió los ensayos nucleares atmosféricos, los experimentos de armamento atómico han continuado.

Después del discurso de Benites, la Asamblea entró a considerar la admisión de nuevos Miembros.

### Ecuatorianos que han ocupado altas dignidades en los Organismos Internacionales.

No sólo en el aspecto de nuestra representación, el Ecuador ha brindado a las Naciones Unidas, las mejores iniciativas y franco respaldo a su gestión, a través de hombres de la talla intelectual de Antonio J. Quevedo, de Teodoro Alvarado Olea, Antonio Parra Velasco, Homero Viteri Lafronte, Leopoldo Benites Vinuesa, sino también, y esto es muy significativo, prestando el contingente de sus hombres, en calidad de funcionarios de las Naciones Unidas, como es el caso del Dr. José Correa, quién llegó hasta el cargo de Asistente General del Secretario General del Organismo; del señor Oswaldo Castro Intriago, uno de los dirigentes de la FAO en Roma y Gonzalo Abad Grijalva en la UNESCO, en calidad de Director del Departamento de Intercambio de Estudiantes, el Sr. Miguel Albornoz, Representante de las Naciones Unidas

en México, Dr. Emilio Uscátegui, Representante de la UNESCO en el Paraguay, y otros tantos que actúan como traductores, técnicos y asesores, sumando más de 70 ecuatorianos al servicio del Organismo Supremo de la Paz.

El Dr. Diego Cordovez, ocupa el cargo de Subsecretario de Asuntos Políticos de las Naciones Unidas. Ingresó como funcionario de ese Organismo Internacional en 1963. Su primer cargo fue de Asesor Económico de las Naciones Unidas.

En los últimos años, el señor Cordovez, fue destinado a cumplir una Misión de las Naciones Unidas, como Mediador, en Afganistán.

El 23 de Octubre de 1981, se anunció que el Dr. José R. Martínez Cobo, fue nombrado Secretario General de la OPANAL (Organización para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina), con asiento en la ciudad de México.

El Dr. Gustavo Pólit Ortiz, quien ocupó importantes funciones en la CEPAL (Comisión de las Naciones Unidas para la América Latina) y de la FAO; trabajó con el Banco Mundial, atendiendo asuntos del Medio Oriente y, posteriormente asumió un importante cargo en la Sección de Asistencia Técnica para el Continente Americano en la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, cuya sede está en la ciudad de Viena.

En 1951, siendo Presidente de la República el Dr. Galo Plaza Lasso, ocupó el Ministerio de Economía. Después, fue Consejero del Gobier-

no mexicano y entonces ayudó a fundar la Comisión de Inversiones, organismo que tiene a cargo la planificación de todos los proyectos de México. Luego, integró el Grupo de Asesores del Centro de Estudios Monetarios para América Latina y, posteriormente, la Junta de Asistencia Técnica, precursora del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Fue Embajador del Ecuador en la ONU de 1962 a 1967 y, estando en funciones ayudó a la creación de la ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial).

Para dar término a este artículo, debemos destacar que la tesis ecuatoriana, que fue adoptada por el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas en 1960, sobre las bases estratégicas de Bélgica, en el Congo, fue publicada, con anterioridad, en las páginas de "Anales de la Universidad de Guayaquil", Año II Volumen 3, 1951, con el título "El Problema del Control Internacional de las bases Estratégicas y las Naciones Unidas", con un comentario al respecto, del suscrito autor.

## MODELO FISICO DE FONDO MOVIL DEL PUENTE SOBRE EL RIO VERDE

*Ing. Jacinto Rivero Solórzano\**

*Ing. Edisón Díaz León\*\**

\* *Profesor Investigador del Instituto de Investigaciones y Estudios Avanzados de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil.*

\*\* *Ayudante de Investigación del Instituto de Investigaciones y Estudios Avanzados de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil.*

### RESUMEN

Se realizó un modelo de fondo móvil del puente sobre el río Verde ubicado en el Km. 110 de la Vía Gómez Rendón - Santa Elena, a efectos de estudiar los procesos erosivos que ocurren en el sitio de cruce y que dieron lugar a un asentamiento de la estructura durante el período invernal 1982-1983.

Además, se aplicaron metodologías teóricas existentes para evaluar el proceso de erosión local al pie de un obstáculo, situación que com-

plementó el trabajo experimental y permitió obtener conclusiones fundamentales en mediciones IN SITU.

## I. INTRODUCCION

Las escasas lluvias del mes de octubre de 1982, que habían sido recibidas con mucha complacencia por los agricultores del Litoral Ecuatoriano, pronto se convirtieron en una pesadilla para aquellos, al ser sustituidas por fuertes y continuas tormentas que se prolongaron hasta agosto de 1983. Este gran fenómeno pluvial se lo atribuye a los efectos del "Niño", cuyas acciones aparecen en forma periódica con mayor o menor intensidad.

En tales circunstancias el Litoral Ecuatoriano, y particularmente la Península de Santa Elena, fue gravemente afectada, produciéndose problemas de toda índole que originaron desesperación, aislamiento, desabastecimiento en los centros poblados, etc., en virtud de que un gran porcentaje de la estructura vial quedó destruida, provocando una grave crisis económica y social.

Las obras de ingeniería fueron gravemente afectadas, situación que nos permite reflexionar en el sentido de que si dichas obras fueron o no diseñadas y construidas de acuerdo a criterios y especificaciones que respondan a nuestra realidad. Han sido los problemas ocurridos en la Península de Santa Elena durante el periodo invernal 82-83, el resultado de un fenómeno meteorológico aislado?.

La respuesta es no, para lo cual se cita a continuación ciertos aspectos que aparecen en la Referencia 1.

"La lluvia intensa a comienzo de 1953, destruyó prácticamente todos los puentes de la carretera Guayaquil-Salinas, interrumpiendo el tráfico durante varias semanas. Estos puentes habían sido construidos por el ex-Comité de Vialidad del Guayas, siendo su estructura de madera; En muchos casos, el río destruyó el puente desde los estribos, pasando la creciente tras ellos.

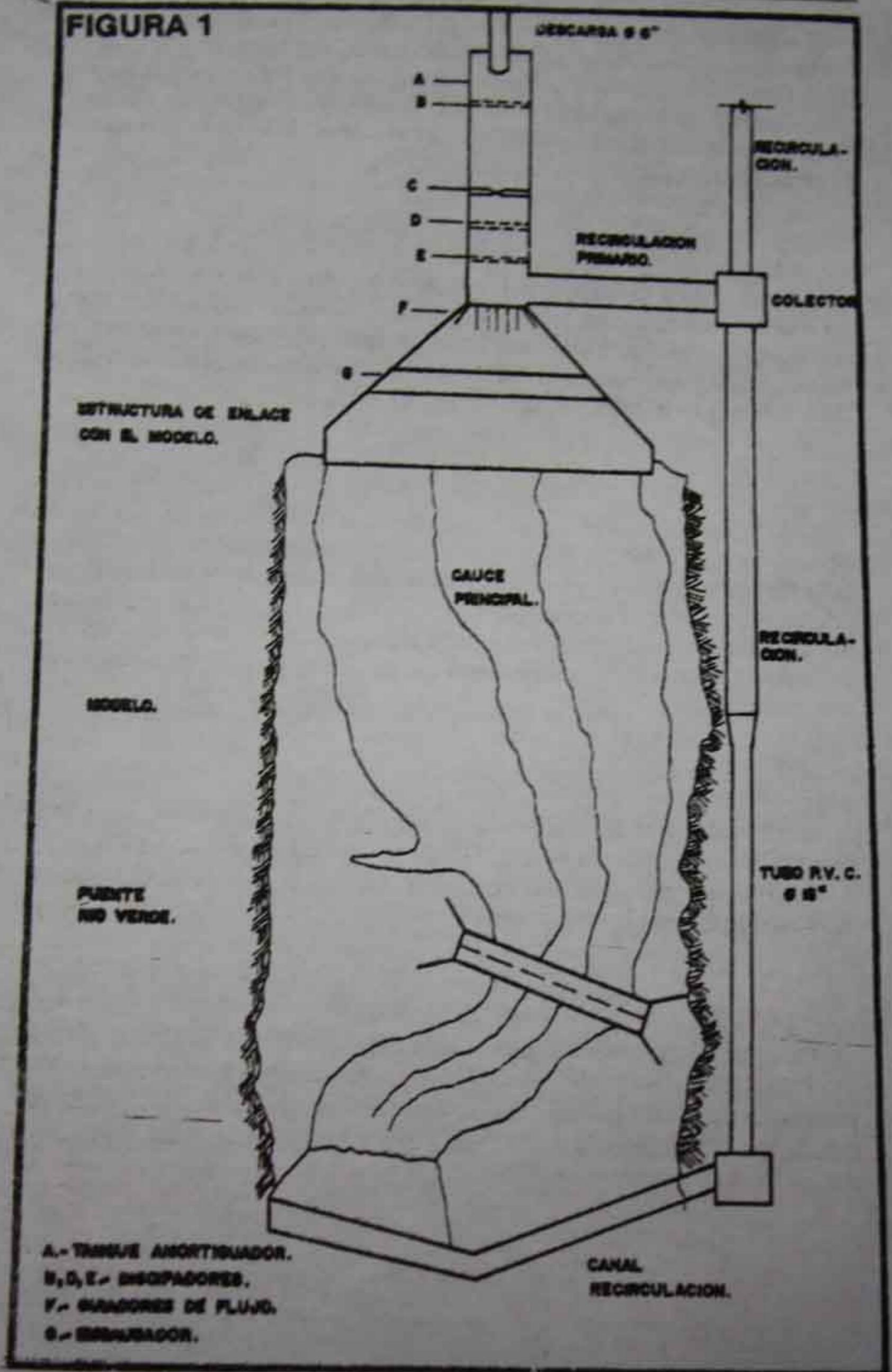
De acuerdo a la versión del ingeniero diseñador de dichos puentes las luces calculadas para los mismos eran demasiado largas y por tanto costosas, por lo que los puentes fueron reducidos para satisfacer las asignaciones presupuestarias de las obras. En algunos casos, la reducción del área hidráulica resultó en más de 50%".

A la luz de las funestas consecuencias tenidas en 1953 y en el período invernal 1982-1983, es evidente que muchas de las estructuras falladas deberían estar aún en servicio, si se hubieran considerado aspectos importantes y elementales sobre todo en lo que tiene relación al drenaje vial con el objeto de permitir el desalojo eficiente de los volúmenes de agua que transportan los ríos en épocas de grandes escurremientos.

El presente trabajo trata de manera muy particular el puente sobre el río Verde ubicado en el Km. 110 de la vía Guayaquil-Santa Elena, el cual sufrió un asentamiento de 90 cm. en una de las pilas del puente durante el período invernal 1982-1983.

La figura # 1, presenta un esquema del puente en el sitio de cruce, a través del cual se podrá observar que este se encuentra en una curva pronunciada y que la relación de estrechamiento es de 2.22, toda vez que la luz del puente es de 36.0 m. y el ancho promedio del río es alrededor de 80.0 m.

FIGURA 1



Nuestro objetivo será reproducir el fenómeno ocurrido en el sitio de cruce a través de la elaboración de un modelo físico de fondo móvil y de la aplicación de metodologías existentes, cuya intención será realizar alguna recomendación generalizada aplicable al área de estudio.

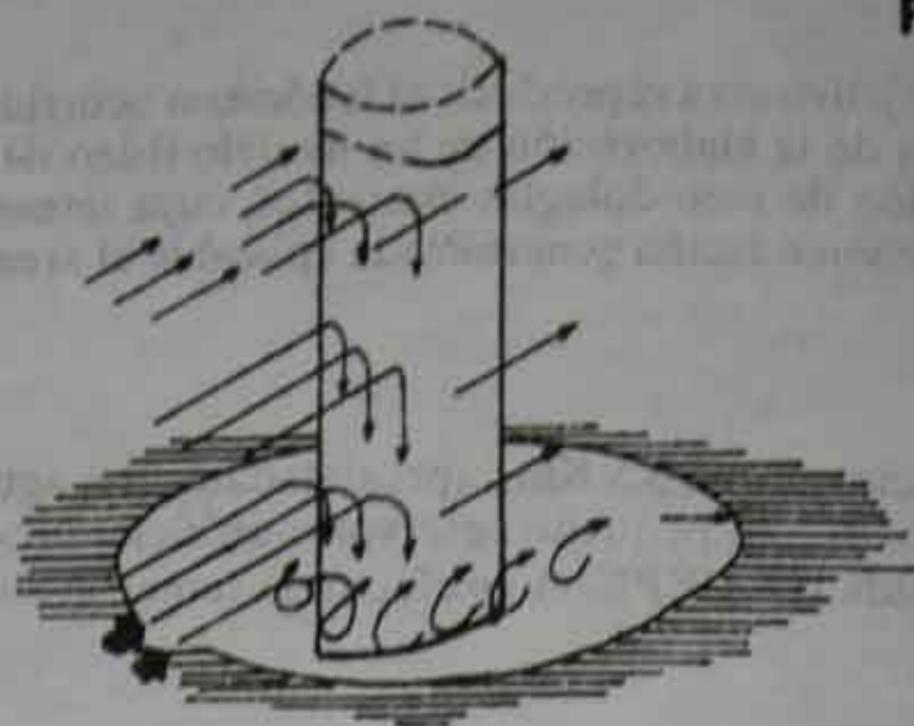
Cabe mencionar que 3.5 Km., aproximadamente, aguas abajo del sitio de cruce existe un pequeño reservorio artificial producido por una presa construida por CEPE, cuyo efecto de remanso alcanza el sitio de cruce.

## II. FACTORES INFLUENCIANDO EL PROCESO DE EROSION AL PIE DE LAS PILAS DE UN PUENTE.

La erosión alrededor de las pilas de puentes es el resultado de un sistema de vórtices que desarrolla en la medida que el flujo del río es desviado alrededor de la pila.

El principal sistema de vórtices que contribuye a la formación del Hoyo de Erosión se origina en la parte frontal de la pila donde el flujo adquiere una componente hacia abajo en elevación, que a su vez adquiere una dirección reversa en planta en el Lecho del Río. Como el material del lecho es removido por el flujo, un remolino en espiral se desarrolla dentro del hoyo formado. En planta el sistema de vórtices tiene una forma de herradura y por esta razón es conocido como un vórtice de herradura,

FIGURA 2



FORMACION DEL VORTICE DE HERRADURA AL PIE DE PILAS CIRCULARES.

En este contexto, la continuidad establece que la tasa de erosión es igual a la diferencia entre la tasa de transporte local y la tasa de suministro al área. Esta puede ser escrita de la siguiente manera:

$$\frac{dF(B)}{dt} = g(B) - g(S) \quad \text{donde}$$

$F(B)$  = Elevación local de fondo del río

$g(B)$  = La tasa de transporte de material desde la zona erosionada

$g(S)$  = La tasa de suministro de material hacia la zona erosionada

La ecuación anterior establece que cuando el suministro de material es igual a la tasa de transporte, el lecho es estable. La tasa de suministro depende de las condiciones de aguas arriba. La tasa de transporte

2.3 HIDRAULICA

desde el área de erosión depende del esfuerzo de corte alrededor del obstáculo, que a su vez depende de la velocidad en las cercanías del lecho y la trayectoria del flujo en la frontera del obstáculo. La tasa de transporte depende además de las características físicas y la naturaleza del material que compone el lecho del río.

En otras palabras, el proceso de erosión local dependerá de las velocidades locales, propiedades del sedimento del lecho y la geometría del sistema.

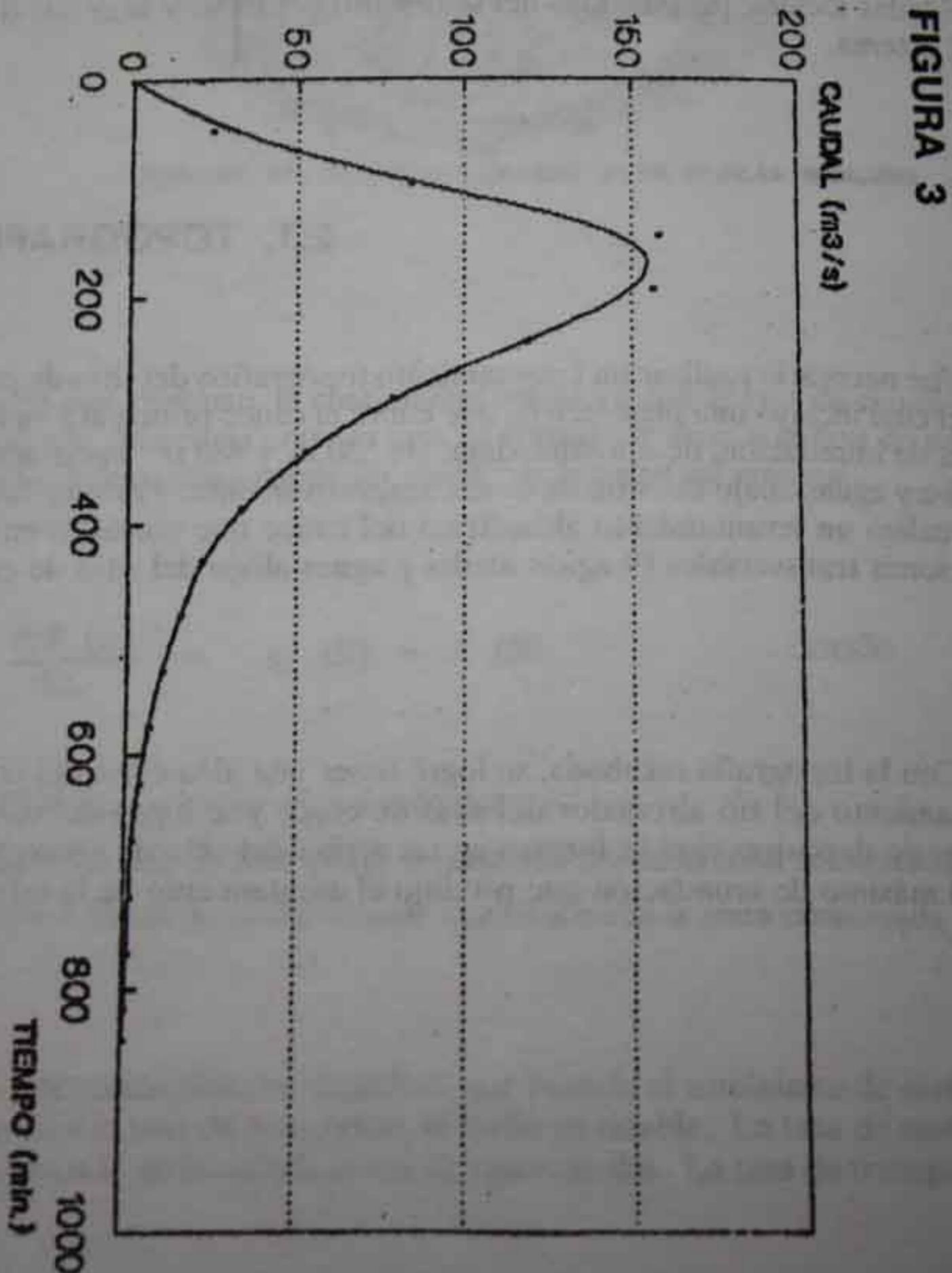
2.1. TOPOGRAFIA

Fue necesario realizar un levantamiento topográfico del sitio de cruce el cual incluyó una planimetría, que cubre el cauce principal y su llanura de inundación, de aproximadamente 530 m. y 480 m. hacia aguas arriba y aguas abajo del sitio de cruce, respectivamente. Por otro lado, se realizó un levantamiento altimétrico del cauce que consistió en 18 secciones transversales (9 aguas arriba y aguas abajo del sitio de cruce).

Con la topografía recabada, se logró tener una idea clara del comportamiento del río alrededor del sitio de cruce y se logró definir las zonas de depósitos que se forman aguas arriba del sitio de cruce, y el nivel máximo de inundación que produjo el asentamiento de la estructura.

## 2.2 HIDROLOGIA

La información hidrológica que sirvió de base para el presente estudio, fue recabada de la Referencia N2, en donde se podrá encontrar los hidrogramas para diferentes períodos de retorno. En la figura N3 se presenta el hidrograma para un periodo de retorno de 50 años, base del presente estudio.



## 2.3 HIDRAULICA

Los cálculos hidráulicos se realizaron con la finalidad de ajustar los caudales máximos obtenidos a partir del estudio hidrológico y evaluar la sobre-elevación producida por la significativa contracción de la sección en el sitio de cruce.

El papel que juega a la descarga de avenidas consiste en incrementar la velocidad del flujo en el río como un total y de manera muy particular en la sección contraída en el sitio de cruce. El incremento de la velocidad media en el río puede ser vista a partir de la ecuación de Manning representada por la siguiente relación:

$$V = \frac{1}{n} S^{1/2} R^{2/3}$$

donde

V = Velocidad media (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

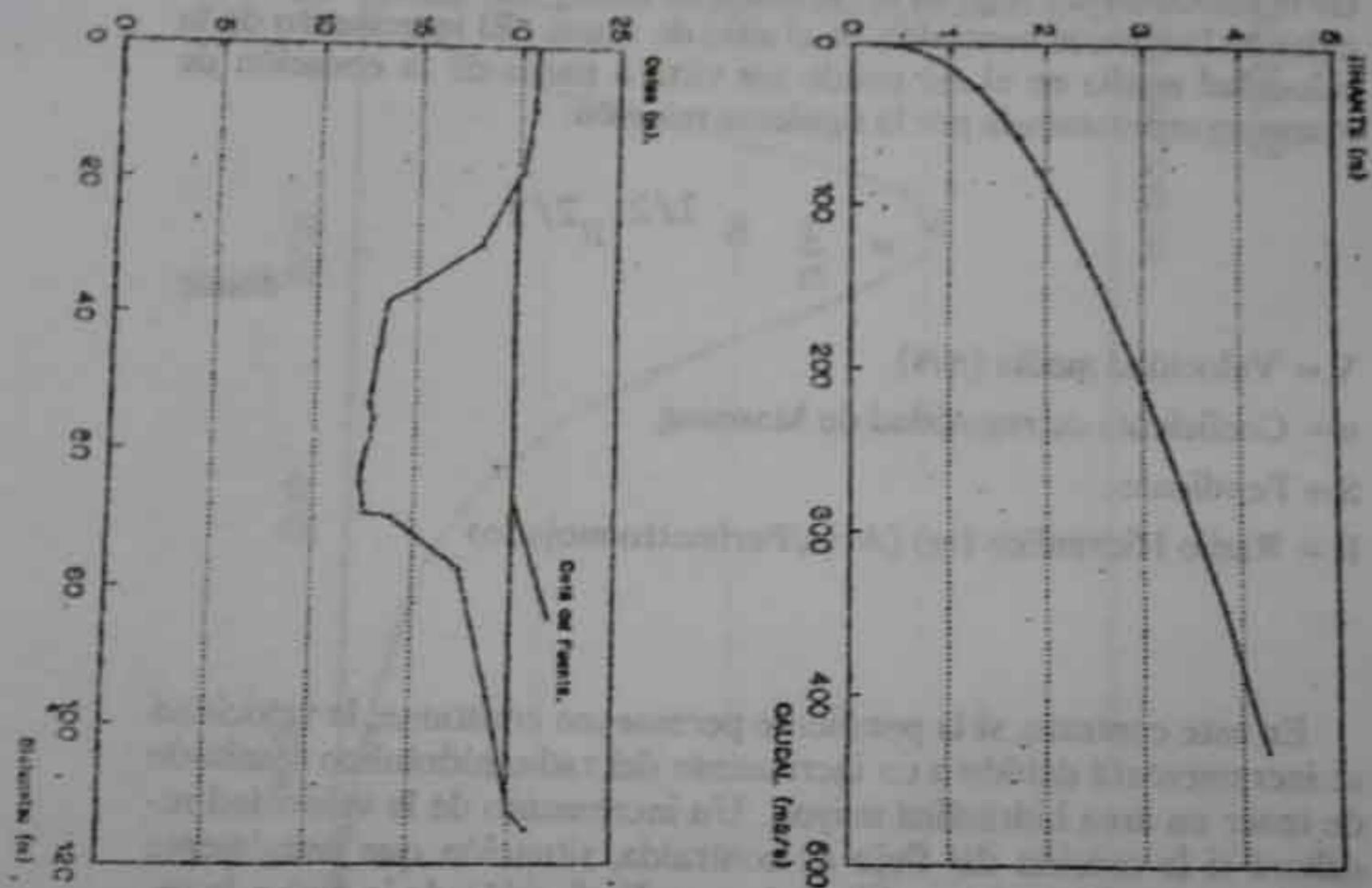
S = Pendiente

R = Radio Hidráulico (m) (Área/Perímetro mojado)

En este contexto, si la pendiente permanece constante, la velocidad se incrementará debido a un incremento del radio hidráulico resultado de tener un área hidráulica mayor. Un incremento de la velocidad resultará si la sección del flujo es contraída, situación que usualmente ocurre en la sección de un sitio de cruce. En función de lo dicho, la velocidad local resultante tendiente a producir el proceso de erosión alrededor de las pilas de un puente, se incrementa con la magnitud de la descarga de avenidas.

Considerando la relación mencionada, se procedió a realizar el ajuste de los caudales máximos de avenidas a efecto de determinar las características hidráulicas en el sitio de cruce bajo consideraciones de flujo uniforme haciendo uso de la ecuación de Manning y de la información topográfica definida previamente; en este contexto, se logró definir la sección N9 como la sección típica representativa del tramo y una pendiente promedio igual a 0.002, lo que dio lugar a definir la curva de descarga, la misma que aparece en la Figura N 4.

FIGURA 4



Posteriormente, se procedió a evaluar la sobre-elevación producida hacia aguas arriba como resultado de la contracción.

De acuerdo a las características hidráulicas prevalecientes en el sitio de cruce se definió el flujo Tipo I, cuyo esquema aparece en la Fig N.5. En este contexto y luego de una serie de tanteos se definió una so-

bre-elevación de 0.60 m. ( $h_i^* = 0.60$  m.), correspondiente a un NAME de 15.39 m.s.n.m. y a una descarga de 147.0 m<sup>3</sup>/s, bajo la cual se reprodujo el nivel máximo de inundación que ocurrió durante el proceso de erosión en la pila central del puente.

## 2.4 SUELOS

Para tener una idea clara del tipo de suelo existente en el sitio de cruce, se recurrió a los estudios de suelos realizados por el Consejo Provincial del Guayas, a través de la cual se pudo observar el tipo de material existente a diferentes profundidades y en diferentes sitios ubicados en la vecindad de las pilas y estribos.

De los análisis realizados se observó el predominio de material granular arenoso con poco limo y arcilla, lo cual fue complementado con análisis granulométrico correspondiente al material de arrastre del río, lo que dio lugar a la obtención de la granulometría siguiente expresada en m.m.:

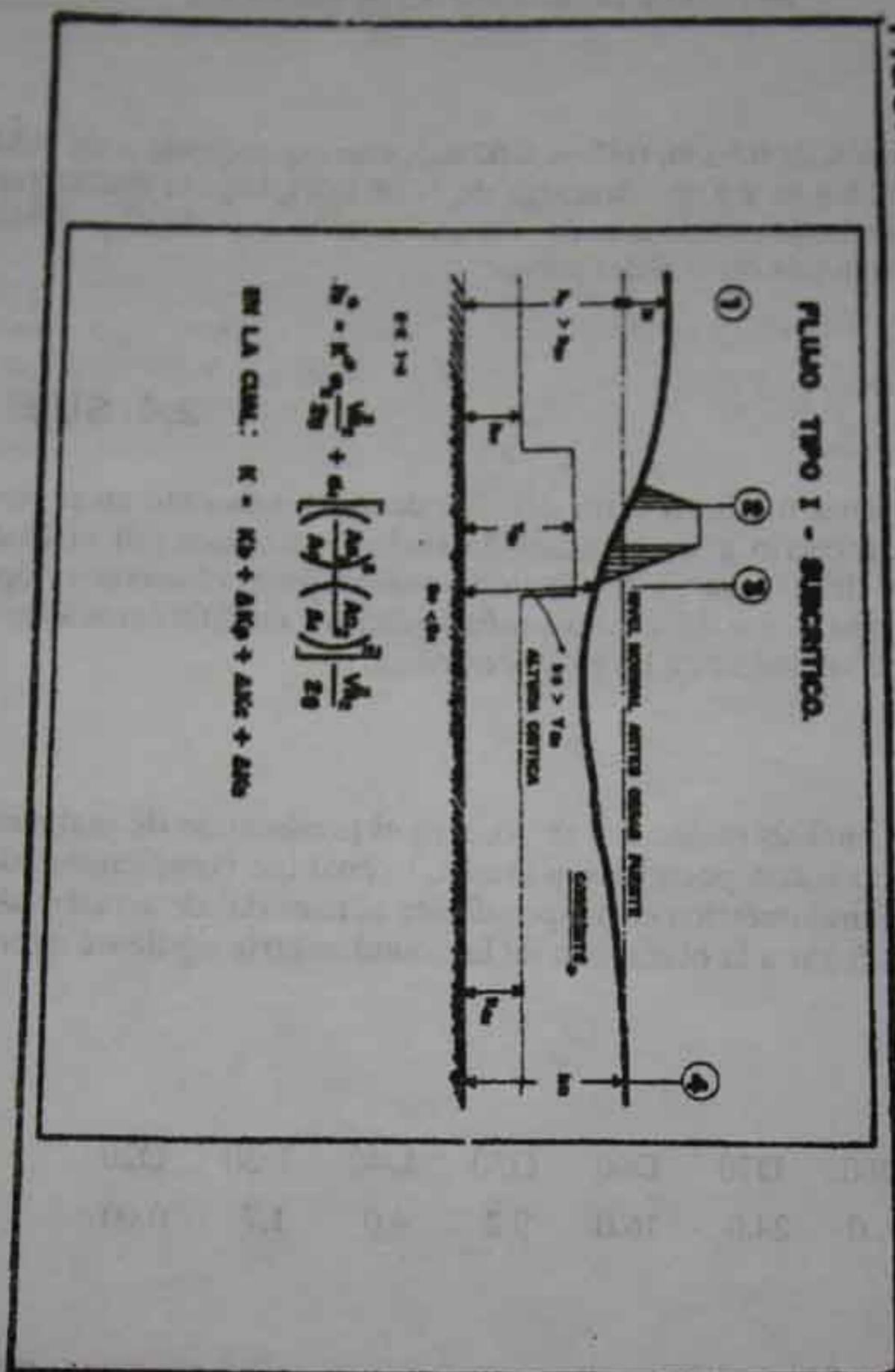
D90	D80	D70	D60	D50	D40	D30	D20
47.0	36.0	24.0	16.0	9.2	4.0	1.7	0.60

## 2.5 ESTRUCTURA

El puente se encuentra sobre tres líneas de pilas con claros de 10m. entre ellas y los estribos ubicados a 8m. desde la última fila de pilas.

Sus pilas son de 1.0m. de ancho por 7.60 m. de largo, presentando claros de 2.10 m., con macizos de 1.0 y así sucesivamente. La altura de

FIGURA 5



las mismas con respecto al cauce es de alrededor de 8.0 m.

Inicialmente, la calzada de rodadura fue de 8.0 m., pero posteriormente se procedió a adosar una estructura de 1.80 m. a cada lado de la calzada, la misma que fue asentada a través de pilas de 1.0 de ancho

por 1.20 de longitud.

Debido a que el sitio de cruce se encuentra en una curva y además el esviamiento de sus pilas con el eje del cauce en alrededor de 40 grados, se produjo una alteración de las líneas de corriente que afectaron significativamente la pila central de la estructura, lo que en conjunto con la gran velocidad de la corriente, dio lugar a un proceso erosivo que ocasionó el asentamiento de la pila correspondiente a la estructura adosada, en 0.90 m.

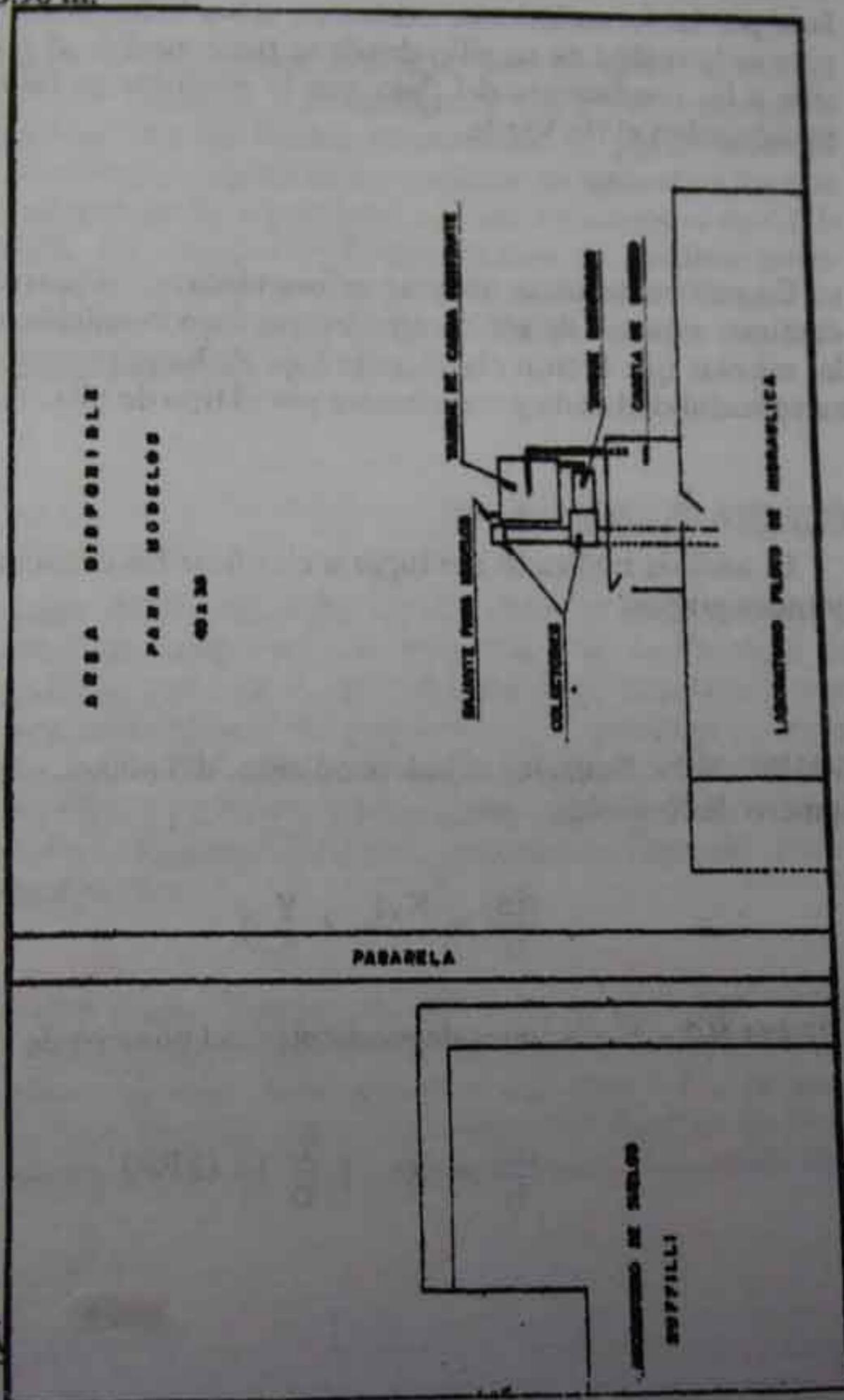


FIGURA 6

### III. APLICACION DE FORMULAS EXISTENTES

Diversos son los métodos y ecuaciones que se han planteado para determinar la profundidad de la erosión al pie de las pilas de un puente, las mismas que han sido desarrolladas bajo diferentes condiciones de flujo y de transporte de sedimentos, situaciones que deben ser consideradas previa al uso de cada una de ellas. Lo anotado, permite realizar comparaciones cuantitativas de la profundidad de erosión calculada por las formulaciones existentes, sobre todo cuando dicha aplicación se la realiza en un sitio donde se tiene medido el proceso de erosión y las condiciones del flujo que lo provocaron, tal es el caso del puente sobre el río Verde.

En este contexto, se analizaron formulaciones desarrolladas bajo un continuo arrastre de sedimentos y otras bajo condición de agua clara, las mismas que fueron clasificadas bajo dicha premisa y en función de su aplicabilidad dada generalmente por el tipo de pila. (Ref.3)

El análisis realizado dio lugar a clasificar las ecuaciones en cuatro grandes grupos:

**GRUPO N 1.-** Ecuaciones independientes del número de Froude y del número de Reynolds.

$$\frac{ds}{b} = K \cdot F \left( \frac{Y}{b} \right)$$

**GRUPO N 2.-** Ecuaciones dependientes del número de Froude

$$\frac{ds}{b} = K \cdot \left( \frac{Y}{b} \right) (FRP)$$

**GRUPO N 3.-** Ecuaciones dependientes del número de Froude y de la relación  $\frac{Y}{b}$

$$\frac{ds}{b} = K \cdot \left( \frac{Y}{b} \right)^n Fr^m - \frac{Y}{b}$$

**GRUPO N 4.-** Incluye aquellas ecuaciones que no entran en los grupos anteriores.

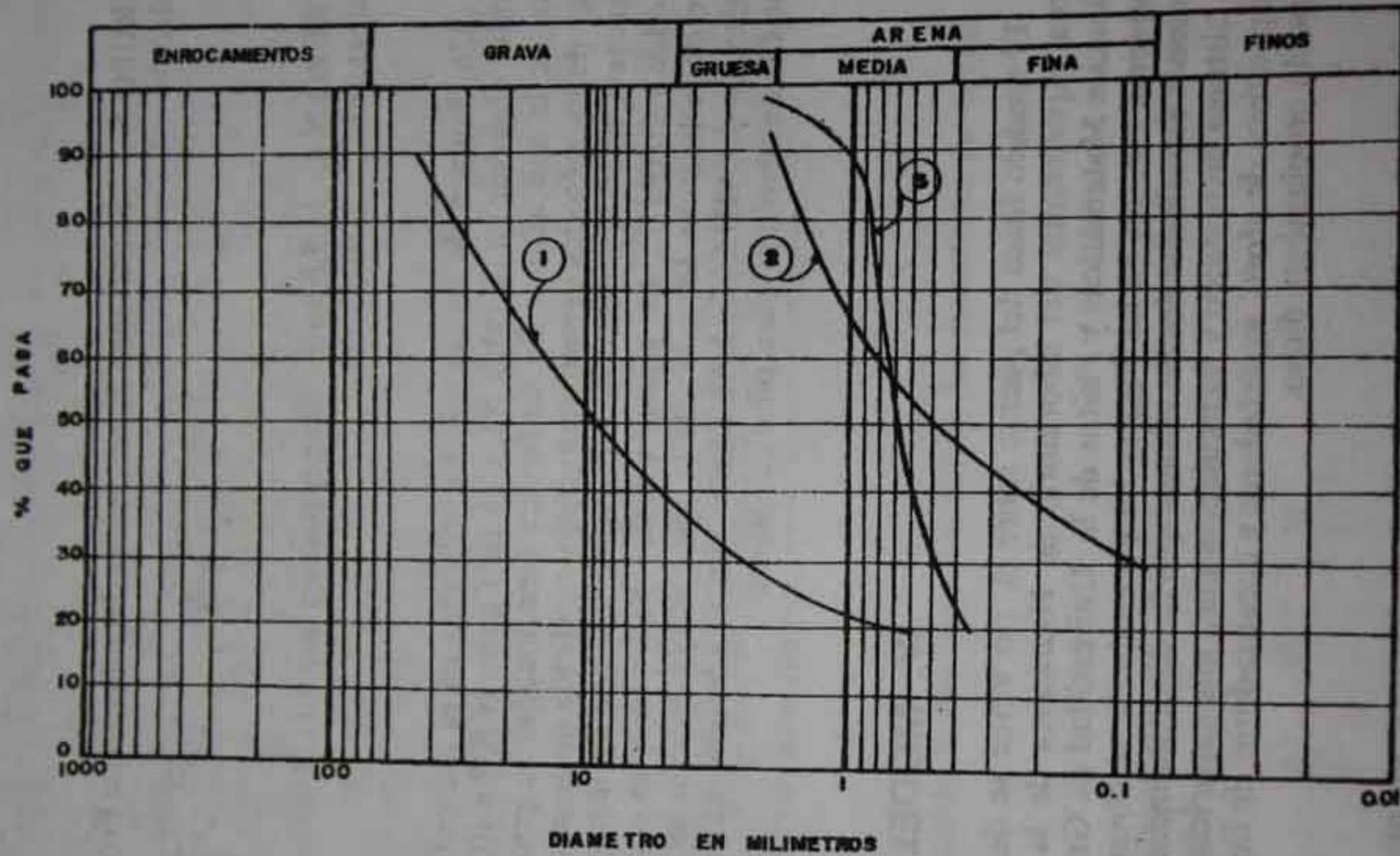
Un resumen de las ecuaciones utilizadas en el presente estudio se podrá observar en la Tabla N1, y en las figuras N 8, 8 y 10, los resultados de la aplicación. En las figuras mencionadas se puede observar que de los métodos desarrollados bajo condición de agua clara los que más se ajustan al proceso de erosión medido son los métodos de CHITALE y GARDE. De aquellos desarrollados bajo un continuo arrastre de sedimento, los que más se ajustan a la erosión medida son los métodos de AHMAD, LAURSEN-TOCH y SHEN, aunque este último fue desarrollado para pilas circulares.

#### IV. MODELO FISICO

El modelo físico del puente sobre el río Verde se desarrolló en el área experimental del laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil, cuyo esquema muestra en las Figuras N1 y 6 en donde se observan las instalaciones experimentales las mismas que fundamentalmente consiste en: i) sistema de bombeo y recirculación para una capacidad de 50 l/s; ii) dispositivos de aforo, quietadores y encauzadores de flujo; iii) mesa y modelo propiamente dicho.

El modelo cubrió una longitud de 900.0 m. en prototipo (500m. aguas arriba y 400m. aguas abajo del sitio de cruce), y a efectos de reproducir el comportamiento hidrodinámico del flujo y los procesos erosivos que ocurren bajo el puente, se diseñó un modelo de fondo móvil no distorsionado a escala 1:0, el cual será construido, calibrado y

FIGURA 7

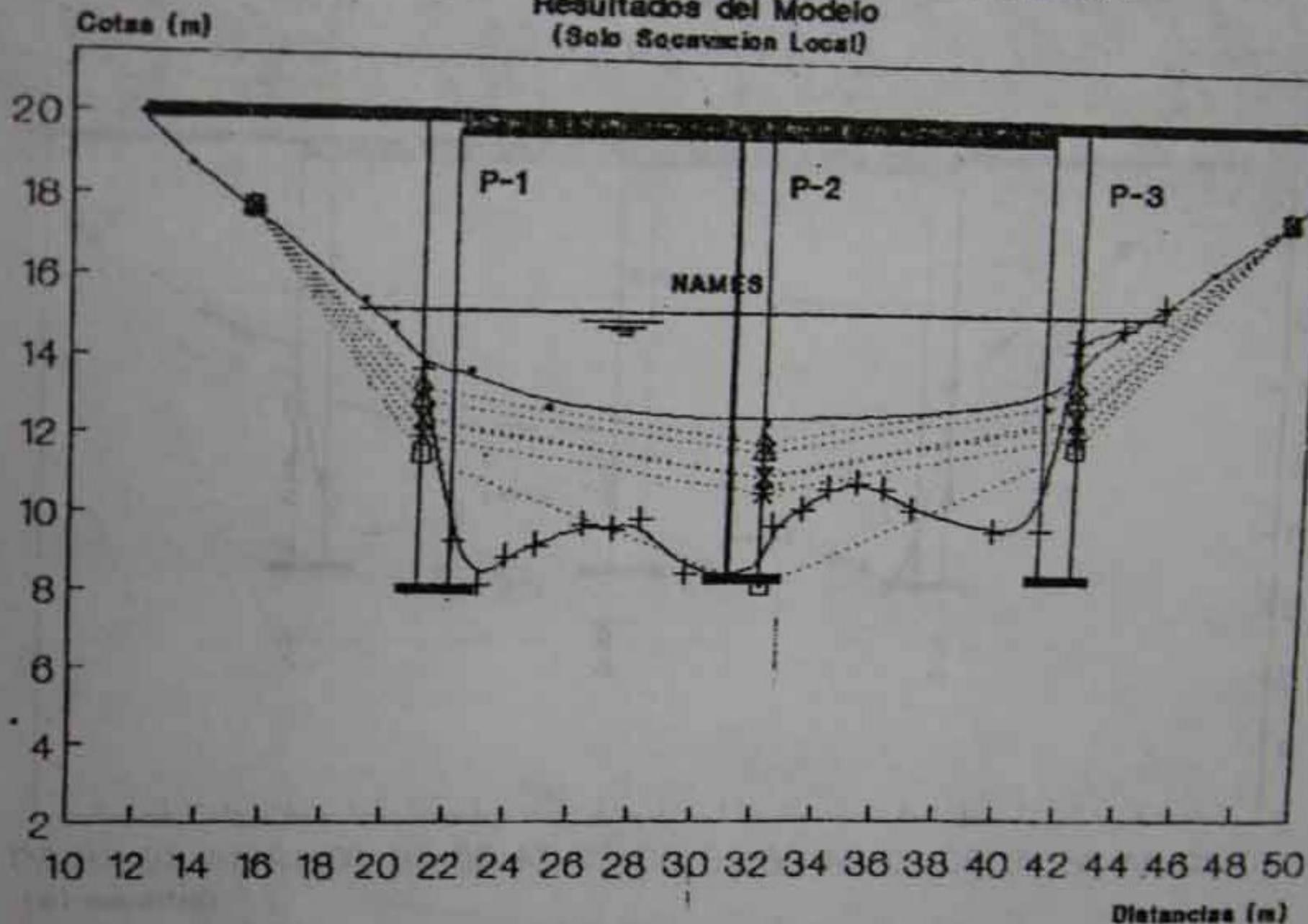


- ① — PROTOTIPO
- ② — CALCULADA PARA EL MODELO
- ③ — USADA EN EL MODELO

**FIGURA 8**

**ALTERNATIVAS POR EFECTOS DE SOCAVACION**

Resultados del Modelo  
(Solo Socavacion Local)



- |     |               |                 |                  |                 |
|-----|---------------|-----------------|------------------|-----------------|
| —●— | Seco. Transv. | + Socv. Expmnt. | * LARRAS(65)     | □ SHEN(65)      |
| ·X· | BREUSERS(6    | ·◇· CARSTENS(6  | ·△· KRISNAM.(70) | ·⊗· COLEMAN(71) |

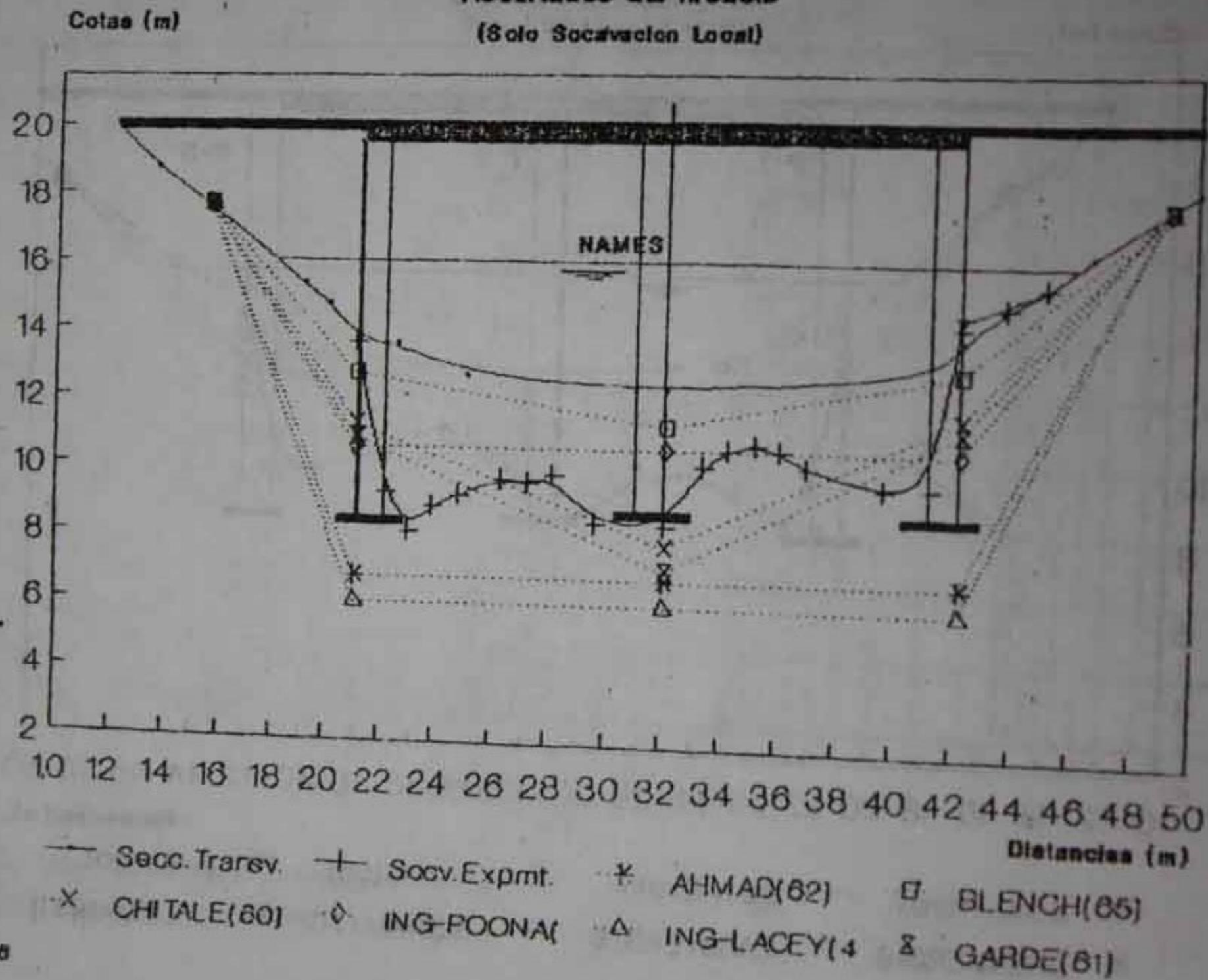
PUEMOD7

**FIGURA 9**

**ALTERNATIVAS POR EFECTOS DE SOCAVACION**

Resultados del Modelo

(Solo Socavacion Local)



FUEM008

ALTERNATIVAS POR EFECTOS DE SOCAYACION

Resultados del Modelo

(Socayacion Local)

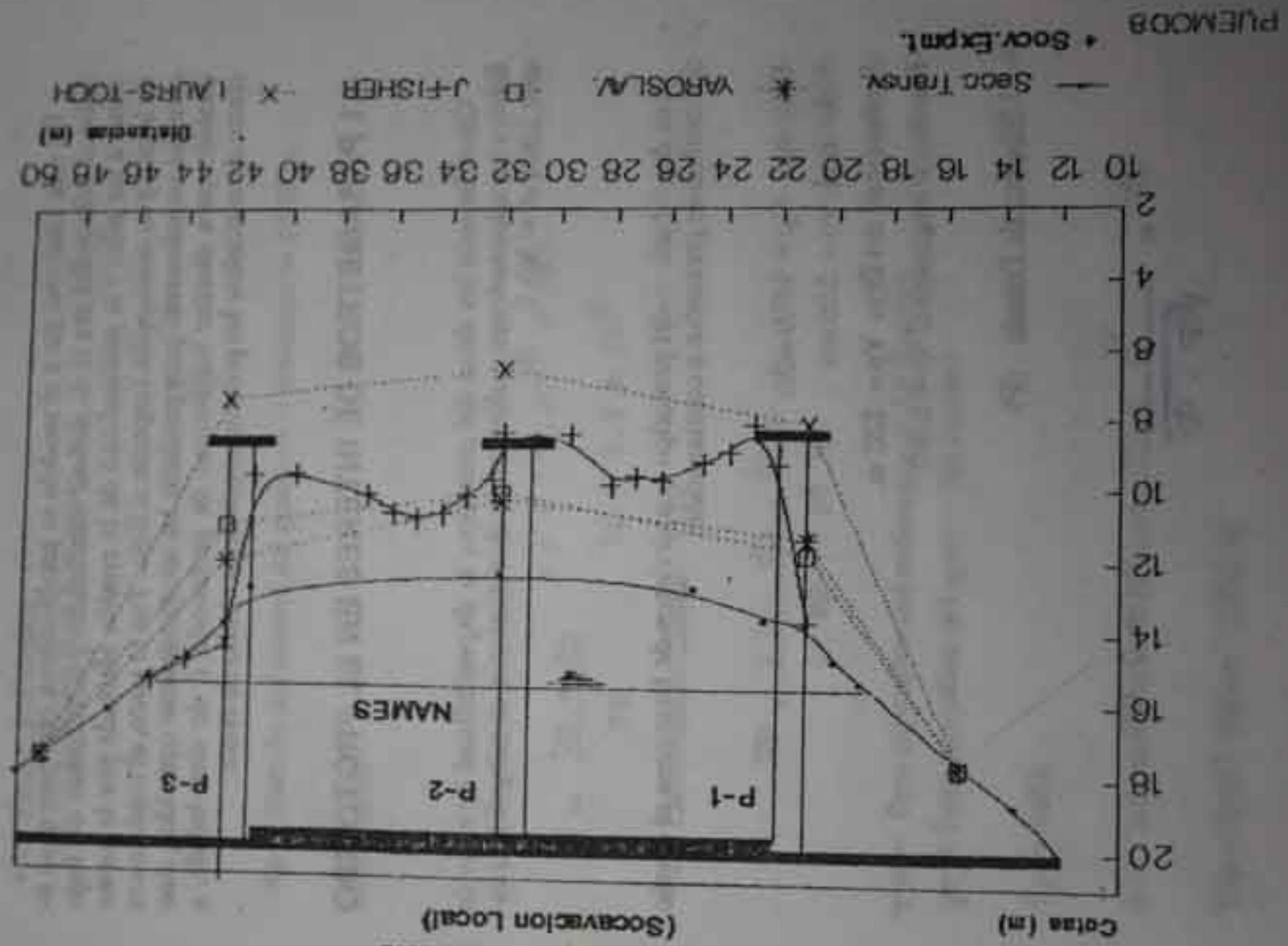


FIGURA 10

operado como un modelo de Froude.

En este contexto, para el modelo se establecieron objetivos cuya finalidad primordial era la de definir velocidades y direcciones del flujo cerca a las pilas y la profundidad de la erosión afectada por la forma de la pila y su orientación respecto al flujo. Por lo tanto, el modelo era esencial no solamente para producir los asentamientos ocurridos, sino también para diseñar estructuras de protección o de otra índole, a efecto de minimizar los procesos erosivos en el sitio de cruce.

#### 4.1 PARAMETROS DE INTERES EN EL PROTOTIPO

Considerando los datos del prototipo, la disponibilidad de espacio físico y las adecuaciones realizadas en el laboratorio, se adoptó una escala 1:30 ( $d = 30$ )

Los datos básicos del prototipo que sirvieron de base para el diseño del modelo se presentan a continuación:

- Descarga  $Q_p = 147.0 \text{ m}^3/\text{s}$
- Velocidad  $V_p = 3.65 \text{ m/s}$
- Profundidad del flujo  $Y_p = 2.55 \text{ m}$ .
- Pendiente longitudinal  $S_p = 0.002$

##### 4.1.1 Número de Froude (F)

$$F_p = \frac{V_p}{\sqrt{g_p \cdot d_p}} \quad F_p = 0.729$$

4.1.2. Factor de Fricción (F)

Usando la ecuación de Keulegan

$$F_p = \left( 2.21 + 2.03 \lg \frac{d_p}{k_p} \right)^{-2}$$

$K_p$  = Tamaño del control del grano en el prototipo = 0.047 m.

$$F_p = 0.030$$

4.1.3 Número de Reynolds (R<sub>p</sub>)

$$R_p = \frac{v_p \cdot d_p}{\gamma_p} \quad v_p = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$R_p = 9.3 \times 10^6$$

4.1.4. Parámetro de Shields (T<sub>p</sub>)

$$T_p = \frac{\gamma_p \cdot d_p \cdot S_p}{(\gamma_{sp} - \gamma_p) k_p}$$

$\gamma_{sp}$  = Peso específico del sedimento = 2.6 Ton/m<sup>3</sup>

$\gamma_p$  = Peso específico del agua = 1.0 Ton/m<sup>3</sup>

$$T_p = 0.068$$

4.1.5 Parámetro crítico de Shields (T<sub>cp</sub>)

$T_{cp} = 0.047$  (figura 7.5 Ref. 4)

#### 4.2 PARAMETROS DE INTERES EN EL MODELO

$$\lambda d = 30; \lambda v = \overline{\lambda d}^{1/2}$$

##### 4.2.1. Chequeo de la escala

$$\text{Escala de velocidades} = \lambda v = 5.48$$

$$\text{Escala de Reynolds} = \lambda r = \frac{\lambda v \cdot \lambda d}{\lambda v} \quad \lambda v = 1.0$$

$$\lambda r = 164.4 = \frac{R_p}{R_m} = R_m \cdot \frac{R_p}{\lambda r}$$

$$R_m = 56569.34$$

El valor del número de Reynolds del modelo nos indica que el mismo trabajará en flujo turbulento ( $R_m > 5000$ ), lo que permite concluir que la escala escogida es correcta.

##### 4.2.2 Determinación de la pendiente

$$\text{La ecuación de velocidades } V = \left( \frac{8 \cdot q \cdot d \cdot s}{f} \right)^2$$

Por lo tanto:

$$\lambda v^2 \lambda d^{-1} \lambda s^{-1} \lambda f = 1$$

De acuerdo a la ley de Froude:

$$\lambda s = \lambda f$$

dando como resultado

$$F_m = \left( 2.21 + 2.03 \lg \frac{dm}{km} \right)^{-2}$$

Debido a que era necesario tener similitud en el movimiento incipiente y en el transporte de material de fondo, la movilidad del lecho

en el prototipo y en modelo debe ser igual, lo cual está definido por la relación entre el parámetro de Shields y el parámetro crítico de Shields. Para lograr esta situación es necesario mantener el parámetro crítico de Shields por arriba de un cierto nivel para todo el rango de descargas, razón por la cual fue necesario hacer el modelo más rugoso lo cual será balanceado con un incremento de pendiente.

En este contexto se escogió:

$$K_m = 0.002 = \lambda k = 23.5$$

$$\bar{c}_m = \frac{dp}{\lambda d} = \frac{2.55}{30} = \bar{c}_m = 0.085$$

$$F_m = 0.0328 = \lambda f = \frac{0.030}{0.0328}, \lambda f = 0.9146$$

$$\lambda s = \frac{S_p}{S_m} = S_m = \frac{S_p}{\lambda s} = \frac{0.002}{0.9146}; S_m = 0.00219$$

El número de Reynolds de la partícula en el modelo ( $R^*_m$ ) se expresa de la siguiente manera:

$$R^*_m = R_m \sqrt{\frac{f_m}{8}} \cdot \frac{K_m}{\bar{c}_m}$$

$$R^*_m = 85.22 \quad (\text{OK})$$

#### 4.2.3 Determinación de la densidad del material

El número de Reynolds de la partícula en el modelo es:

$R^*_M = 85.22$ . De acuerdo al diagrama de Shields (Figura N 7.5 de la Ref. 4), el parámetro crítico de Shields en el modelo será:

$T_{cm} = 0.0395$ , por lo tanto

relación que define la movilidad del material del fondo en el prototipo, lo cual debe cumplirse en el modelo. Por lo tanto

por lo tanto el peso específico del material del modelo será:

#### 4.2.4. Determinación de la granulometría del material para el modelo.

Existen básicamente dos formas de evaluar la granulometría del material del modelo: i) El método de U.S. Bureau of Reclamation, el cual se basa en el criterio de la velocidad de deposición; ii) El método de Colorado State University, basado en la teoría del inicio del movimiento. En función a nuestro problema específico, en donde el transporte de sedimento será básicamente como arrastre de fondo, se decidió usar el segundo método dado los basamientos fundamentales del mismo.

Considerando la granulometría del material del prototipo, se procedió a evaluar el esfuerzo cortante crítico del material, aplicando el criterio de Shields

$$(\bar{\tau}_c = 0.047 (\gamma_s - \gamma) D_s)$$

D (m.m)	90	80	70	60	50	40	30	20
$\bar{\tau}_{cp}$ (N/m <sup>2</sup> )	0.00353	0.00271	0.0018	0.0012	0.00069	0.00030	0.00013	0.000045

El esfuerzo cortante correspondiente fue relacionado por la siguiente ecuación:

$$\bar{\tau}_c = \frac{1}{8} f \rho V^2$$

la relación será:

dando lugar a los siguientes esfuerzos cortante crítico del material del modelo:

	D90	D80	D70	D60	D50	D40	D30	D20
$\bar{\tau}_c \text{ (TON/m}^2\text{)} \cdot 10^3$	0.129	0.099	0.0657	0.0438	0.0252	0.011	0.00468	0.00164

$$\bar{\tau}_c = \frac{\bar{\tau}_{cp}}{27.439}$$

Considerando la Figura 7.5 de la Ref. 4 se definió, a través de un procedimiento de tanteo, la granulometría del material a representar en el modelo, la misma que se presenta a continuación:

	D90	D80	D70	D60	D50	D40	D30	D20
D(m.)	0.002	0.00168	0.0012	0.00083	0.00054	0.00022	0.000085	0.00003

En la Figura N7 se presenta la granulometría del material usado finalmente en el modelo, el mismo que fue localizado en uno de los ríos que cruzan la carretera Puerto Inca-Machala y el que a su vez responde a las características de peso específico requerido para el modelo.

#### 4.2.5 Determinación de la escala de tiempo para agua y sedimento.

Dada la importancia de la escala de tiempo en un modelo de las características y objetivos como los planteados en el presente estudio, se decidió aplicar tres metodologías diferentes y así poder definir, durante la operación del modelo, la escala de tiempo que representa mejor las características del prototipo. Los métodos considerados fueron: i) método de Gessler (Ref. 5); ii) Método del U.S. Bureau of Reclama-

tion, iii) Método de Colorado State University.

#### 4.2.5.1. Método de Gessler.

La escala de tiempo para la descarga de agua puede ser encontrada a partir de la siguiente relación:

$$x_p/x_m = (V_p/V_m) (t_p/t_m) \quad \text{por lo tanto}$$

$$\lambda t_w = \lambda d \cdot \lambda v^{-1} \Rightarrow \lambda t_w = \lambda d^{1/2} \Rightarrow \lambda t_w = 5.48$$

Con respecto a la escala de tiempo para el movimiento del sedimento, este proceso puede ser definido a través de un tiempo característico, de la siguiente manera:

$$t_s = \text{Area sección Transversal} (q_s/\delta \cdot \gamma)$$

Por otro lado la ecuación de Meyer-Peter y Muller para transporte de sedimentos es dada por la siguiente relación:

$$q_s = 8 \left( \frac{\bar{b} - \bar{b}_c}{(\gamma_s - \gamma) K} \right)^{3/2} (\gamma_s - \gamma)^{3/2} K^{3/2} \frac{q^{1/2}}{\gamma^{1/2}}$$

Combinando las dos últimas ecuaciones, la relación de escala de tiempo para el sedimento queda definida a continuación:

$$\lambda t_s = \lambda d^2 \cdot (\lambda t - \lambda t_c)^{3/2} (\lambda (\gamma_s - \gamma))^{-1/2} \cdot (\lambda k)^{3/2}$$

$$\text{por lo tanto: } \lambda t_s = 6.14$$

#### 4.2.5.2. Método del U.S. Bureau of Reclamation

Este método considera que la escala de tiempo para la descarga de agua es igual a la escala de tiempo para la descarga de sedimentos

$$\lambda t_w = \lambda t_s \rightarrow \lambda t_w = \lambda d^{1/2}$$

$$\lambda t_w = \lambda t_s = 5.48$$

#### 4.2.5.3 Método de Colorado State University

El método está basado en la celeridad de la onda. En este contexto, la relación de escala de tiempo será:

$$\lambda t_s = \left( \frac{x_p}{x_m} \right) \cdot \left( \frac{1}{c_p/c_m} \right) \quad c = \text{celeridad de la onda}$$

$$\lambda t_s = \lambda d \cdot \frac{c_m}{c_p}$$

Basados en la ecuación de transporte de sedimento, se tiene:

$$\frac{\delta q_b}{\delta x} + (1-\lambda) \frac{\delta z}{\delta t} = 0 \quad \lambda = \text{porosidad}$$

La celeridad teórica de la onda se define como:

$$C_t = \frac{1}{1-\lambda} \left( \frac{\delta q_b}{\delta z} \right)$$

Relacionando la descarga de sedimento  $q_b$  con la velocidad  $V$ . A través de una ecuación potencial ( $q_b = avb$ ), la celeridad de la onda quedará:

$$C_t = \frac{1}{1-\lambda} \left( \frac{a \cdot b \cdot V^b}{D} \right)$$

D = tamaño de la partícula

Por otro lado la celeridad numérica  $C_n$  y la celeridad teórica  $C_t$ , responden a la siguiente relación:  $C_n = 2.33 [(1 - \lambda) C_t]^{0.96}$  por lo que:

$$C_n = 2.33 \left( \frac{a \cdot b v^b}{D} \right)^{0.96} \text{ dando lugar a:}$$

$$\frac{C_{np}}{C_{nm}} = \left( \frac{b_p}{b_m} \right)^{0.96} \left( \frac{a_p}{a_m} \right)^{0.96} \left( \frac{D_m}{D_p} \right)^{0.96} \left( \frac{v_p^b}{v_m^b} \right)^{0.96}$$

Considerando la variación de la descarga y su profundidad, se calcula la velocidad, por la relación definida previamente, tanto para el prototipo como para el modelo. En este contexto y haciendo uso de la ecuación de Meyer-Peter y Muller considerando el tamaño medio del material, se encontraron las siguientes relaciones para el prototipo y el modelo:

$$q_{b_p} = 0.000147 v_p^{2.669} \text{ (prototipo)}$$

$$q_{b_m} = 0.00009497 v_m^{2.916} \text{ (modelo)}$$

De esta manera, la relación de escalas para la celeridad queda:

$$\frac{C_p}{C_m} = 0.0918 \cdot \frac{v_p^{2.562}}{v_m^{2.799}}$$

Finalmente, la relación de escala para el tiempo del sedimento queda de la siguiente manera:

$$\lambda_{ts} = 2.795 v_p^{0.237}$$

La relación de escala de tiempo para la descarga de agua ya fue definida previamente y quedó de la siguiente manera:

$$\lambda_{tw} = 5.48$$

## V. CALIBRACION, MEDICIONES Y RESULTADOS OBTENIDOS

El proceso de calibración del modelo se lo realizó para el gasto de diseño (29.54 l/s), el mismo que consistió en reproducir las características hidrodinámicas del prototipo en el modelo. Para el efecto, se logró verificar la elevación de la superficie del agua en el modelo y las velocidades en puntos estratégicos del mismo.

El aforo de la descarga en el modelo se lo realizó usando polietileno de color amarillo, estableciéndose la velocidad en función del tiempo de recorrido en una determinada longitud.

El ajuste total de los tirantes y las velocidades del flujo se logró luego de colocar rugosidades artificiales que consistieron en varillas de hierro hincadas en el tramo de aguas arriba del puente, para así reproducir con muy buena aproximación del comportamiento hidrodinámico.

Las corridas experimentales se realizaron utilizando un "hidrograma escalado", para lo cual se discretizó el mismo en intervalos de 9 minutos y alcanzando el caudal máximo a los 35 minutos de iniciada la corrida.

Se elaboraron los respectivos perfiles de socavación obtenidos en el sitio de cruce para los diferentes caudales experimentales, tal como se observa en las figuras Ns. 8, 9 y 10 para la descarga de 50 años de recurrencia.

De las corridas realizadas se pudo visualizar de una manera muy clara el proceso de erosión ocurrido en el sitio de cruce, no sólo por el paso de la creciente, sino aquella erosión adicional producida por una serie de situaciones adversas que prevalecen en el sitio y que fueron definidas en detalle en líneas precedentes; todo esto demuestra a simple vista la necesidad de definir una luz de puente mucho más amplia y en un sitio adecuado.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se logró una fiel reproducción del comportamiento hidrodinámico del río, situación que en cierta forma garantiza condiciones óptimas para la deformación del lecho móvil.
2. Se reprodujo en el modelo la socavación y hundimiento de la pila 2, 0.80 m. en el modelo respecto a 0.9 en el prototipo. De igual manera se reprodujeron adecuadamente las socavaciones ocurridas en las otras pilas, principalmente en aquella ubicada en el extrados de la curva.
3. De las formulaciones teóricas aplicadas, la de Laursen-Toch dio los resultados más cercanos a las mediciones en el modelo, por tanto es posible usarla con certidumbre para casos similares en la vía de Gómez Rendón-Santa Elena, dado que geológicamente se encuentra ubicada en una misma formación denominada Tablazo.

## REFERENCIAS

1. MARIN, L., "DAÑOS OCURRIDOS POR EL FENOMENO DEL NIÑO 1982 - 1983", SIMPOSIO SOBRE RIESGOS POR INUNDACIONES, SEMSIR, 1985.
2. CRUZ, C., "INFORME TECNICO SOBRE DAÑOS OCURRIDOS EN LA CARRETERA GOMEZ RENDON-SANTA ELENA DURANTE EL INVIERNO 1982-1983", HONORABLE CONSEJO PROVINCIAL DEL GUAYAS, 1984.
3. DARGAHI, B., "LOCAL SCOUR AT BRIDGE PIERS", A REVIEW OF THEORY AND PRACTICE, ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, STOCKHOLM, SWEDEN, 1982.
4. SIMONS, D. AND SENTURK, F., "SEDIMENT TRANSPORT TECHNOLOGY", WATER RESOURCES PUBLICATION, FORT COLLINS, COLORADO, USA 1978.
5. GESSLER, J., "MODELING OF FLUVIAL PROCESSES", CHAPTER 21 OF RIVER MECHANICS, VOL. II, SHEN ED., WATER RESOURCES PUBLICATION, FORT COLLINS, COLORADO, USA, 1971.

TABLA N1 (2/2)

LEYENDA:

ds = Profundidad de erosión

b = Ancho de la pila

y = Profundidad del flujo

Frp = Número de Froude de la pila = Frp V/ g.b. ojo

Fr = Número de Froude crítico

V = Velocidad del flujo

D = Diámetro medio

g = Aceleración de la gravedad

Ss = Gravedad específica

\* Ecuaciones desarrolladas bajo un continuo transporte de sedimento.

AUTOR	Ecuación	OBSERVACIONES
LAURENTO-TOCH (1956)	$\frac{ds}{b} = K \left(\frac{y}{b}\right)^{0.5}$	Válida para todo tipo de pila K=F(forma de pila y sevia/jamiento)
SWEN (1969)	$\frac{ds}{b} = K \cdot \frac{y}{b} + Fr_p^{0.898}$	Solo pilas cilíndricas-0.105 ≤ Fr ≤ 0.935. Material usado: φ = 0.25 m.m.
COLEMAN (1971)	$\frac{ds}{b} = K \cdot \frac{y}{b} + Fr_p$	Sólo para pilas circulares
ABRID (1962)	$\frac{ds}{b} = K.Fr^{2/3} \left(\frac{y}{b}\right) - \frac{y}{b}$	K = función de la forma de la pila.
BLANCH (1965)	$\frac{ds}{b} = K.Fr^{1/2} \left(\frac{y}{b}\right)^{3/4} - \frac{y}{b}$	Válida para pilas rectangulares con frente redondeada.
DEGLIS-POIRA (1949)	$\frac{ds}{b} = K.Fr^{0.52} \left(\frac{y}{b}\right)^{0.78} - \frac{y}{b}$	Válida para pilas rectangulares con frente redondeada.
DEGLIS-LACHY (1963)	$\frac{ds}{b} = K.Fr^{1/3} \left(\frac{y}{b}\right)^{1/2} - \frac{y}{b}$	Solo pilas rectangulares frente redondeada ecuación no es dimensionalmente homogénea.
GAUCH (1961)	$\frac{ds}{b} = K.Fr^n \left(\frac{y}{b}\right) - \frac{y}{b}$	Todo tipo de pila-K = F(φ de Froude, coefic. de arrastre y forma de pila)
CHENZLE (1960)	$\frac{ds}{b} = 5.48Fr^2 \cdot \frac{y}{b} + 6.65Fr^n$ $\frac{y}{b} = 0.51 \frac{y}{b}$	Solo pilas rectangulares - 0.15 Fr ≤ 0.45 Material usado: 0.16 ≤ φ ≤ 1.51 m.m.
LAROUS (1963)	$\frac{ds}{b} = 1.05.K.b^{0.75}$	K = función de la forma de la pila
BREUSERS (1965)	ds = 1.4 . b	Solo para pilas circulares
CARSTENS (1966)	$\frac{ds}{b} = 0.546 \left(\frac{Ns^2 - 1.64}{Ns - 5.02}\right)^{5/8}$	Solo pilas circulares-Ns > 5.02 (Número del sedimento) Ns = V/ √(Ss-1)φD
KRISHNAMURTY (1970)	ds = Fr (1+K1) (y/b)^{1/3} - K2	K1 = F(Forma de la pila) K2 = 2 (Encontrado experimentalmente)
YAROSLAVIEV	ds = Kf.Kv.(φ+Kn) . (y/b)^2 - D	Kf, Kv, φ, Kn = Coeficientes función de forma pila, sevia/jamiento, φ de Froude, etc.
JAIN-FISCHER (1980)	$\frac{ds}{b} = K \left(\frac{y}{b}\right)^{0.5} (Fr - Fr_c)$	Solo pilas circulares - Uso tres tipos de material φ = 0.25, 1.50