

INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES

óIAENô

DIPLOMADO SUPERIOR DE GESTION INTEGRAL
DE RIESGOS Y DESASTRES:

MONOGRAFÍA

TITULO:

HUNDIMIENTO EL TREBOL
óRESPUESTA A LA EMERGENCIAô

AUTOR:

NELSON EDUARDO ARIAS JIMÉNEZ

AGOSTO-2008

INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES

óIAENô

**DIPLOMADO SUPERIOR DE GESTION INTEGRAL
DE RIESGOS Y DESASTRES:**

MONOGRAFÍA

TITULO:

**HUNDIMIENTO EL TREBOL
óRESPUESTA A LA EMERGENCIAô**

AUTOR:

NELSON EDUARDO ARIAS JIMÉNEZ

DIRECTOR:

THEOFILOS TOULKERIDIS

QUITO 25 DE AGOSTO/2008

HUNDIMIENTO EL TREBOL

INDICE	PÁGINA
1.- INTRODUCCIÓN	5
2.- ANTECEDENTES	5
3.- OBJETIVOS	8
3.1 Generales	
3.2. Específicos	8
4.- CARACTERÍSTICAS GENERALES	8
4.1 Ubicación	8
4.2 Características Geológicas y Geotécnicas Generales	9
4.4. Hidrología e hidrografía	11
4.5 Características hidrogeológicas	12
5.- RESEÑA HISTORICA	19
6.- HIPÓTESIS SOBRE LAS POSIBLES CAUSAS DEL HUNDIMIENTO	19
6.1 Caudal Extremo	19
6.2 Proceso erosivo y acción química del agua	19
6.2.1. Afectación del río a las estructuras en época de estiaje	20
6.2.2. Afectación de las crecientes del río a las estructuras	21
6.3. Acción del agua subterránea.	24
7.- SIMILITUD CON OTROS HUNDIMIENTOS PRODUCIDOS EN EL PLANETA	25

8.-	ACTIVIDADES EJECUTADAS	26
8.1.	Inspección interior del embaulado	27
8.2.	Estudio de suelos	28
8.3.	Control de afloramientos de agua de agua en los taludes sur y suroccidental	29
8.4.	Control de escurrimientos superficiales	33
8.5.	Estabilización de taludes	33
8.6.	Desvío del río Machángara	35
9.-	ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES	38
9.1.	Reconstrucción del tramo de colector colapsado y relleno del cráter.	39
9.2.	Construcción del túnel de desvío	42
9.3.	Recuperar el cauce natural del río	42
10.-	SOLUCIONES A LA PROBLEMÁTICA DEL TRÁFICO	44
11.-	GESTIÓN DEL RIESGO EN PROYECTOS INGENIERILES	46
12.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
12.1.	Conclusiones.	47
12.2.	Recomendaciones .	49
13.-	ANEXOS.	
13.1.	Planos	
13.2.	Fotografías	
13.3.	Mapas	

BIBLIOGRAFÍA.

HUNDIMIENTO EL TREBOL

óRESPUESTA A LA EMERGENCIAô

1.- INTRODUCCIÓN

El Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN), dentro de su reglamentación establece la elaboración de una monografía como requisito de la culminación de los diferentes diplomados, que se imparten en esta institución, es así que una vez terminado el curso normal del primer Diplomado en Gestión Integral de Riesgos y Desastres, propuse como tema de Monografía el fenómeno producido en el intercambiador de El Trébolô, considero que tiene mucha importancia y actualidad ya que con la recopilación de información histórica y los datos obtenidos in situ, podría establecerse de una manera bastante certera, la causa o causas que fueron las que ocasionaron el presente problema y recomendar acciones preventivas, que serán de gran utilidad en esta y otras obras similares, para prevenir y/o reducir el riesgo de un desastre potencial en tiempo futuro.

2.- ANTECEDENTES

Como es de dominio público, el 31 de marzo de 2008, aproximadamente a las 14h:00, se produjo un hundimiento de grandes proporciones (aproximadamente 25.000 m³ de tierra), en el principal intercambiador del sur de la ciudad de Quito, en el sitio denominado El Trébol. Esta obra vial de notable importancia para el descongestionamiento del tráfico de vehículos que se trasladan desde el norte hacia el sur de Quito y al Valle de Los Chillos o viceversa, se construyó hace 25 años, cuyo diseño se aprecia en la figura siguiente (figura N. 2.1).

FIGURA N. 1.1 DISEÑO ORIGINAL DEL INTERCAMBIADOR EL TREBOL



El hundimiento que se produce en la fecha señalada anteriormente, se inició con la formación de una forma cratérica de aproximadamente 30m de diámetro (ver figura N. 2.2), el mismo que se ampliaba de manera constante debido a la inestabilidad que presentaban los taludes por la saturación del suelo causado por las fuertes precipitaciones, que se producían durante esos días en la zona, a esto se sumó, la presencia de agua subterránea en el talud sur, dando lugar a la formación de un cráter de aproximadamente 120 m de diámetro y una profundidad desde la corona hasta el río de 40 m (ver figura N. 2.2, 2.3 y 2.4); esto se debió al

FIGURA N. 2.2 FASE INICIAL DEL HUNDIMIENTO EL TREBOL

(FUENTE EMAAP-Q abril 2008)



colapso de un tramo de 20m del embaulado de hormigón que encausa al río. Éste fenómeno provocó un estado de emergencia para la ciudad de Quito, aspecto que obliga al Municipio a buscar soluciones integrales urgentes al sistema de tránsito local y encontrar alternativas adecuadas y seguras para la conducción del río Machángara en ese sector, evitando de ésta manera que se ponga en riesgo a la población y cualquier obra que se construya en lo posterior.

FIGURA N. 2.3 CONFORMACIÓN FINAL DEL CRÁTER

(FUENTE NELSON ARIAS abril/2008)



FIGURA N. 2.4 VISTA DEL TRAMO DEL EMBAULAMIENTO COLAPSADO

(FUENTE NELSON ARIAS abril/2008)



3.- OBJETIVOS

3.1 General

Realizar un análisis sobre los aspectos constructivos del embaulamiento del río Machángara, el sistema de relleno, establecerse de una manera bastante certera, la causa o causas que fueron las que ocasionaron el presente problema y recomendar acciones preventivas, que serán de gran utilidad en esta y otras obras similares.

3.2. Específicos

- 1 Establecer las condiciones del terreno antes de la ejecución del relleno
- 2 Realizar un análisis de los aspectos hidrológicos e hidrogeológicos del sector y determinar su grado de influencia en sobre el colector
- 3 Establecer hipótesis sobre la causa o causas del colapso del colector
- 4 Realizar una descripción y análisis de las acciones y trabajos ejecutados y propuestas de los organismos competentes para la solución del problema.
- 5 Plantear alternativas de solución
- 6 Realizar una evolución del riesgo asociado a las intervenciones en los cauces de los ríos o quebradas.

4.- CARACTERÍSTICAS GENERALES

4.1 Ubicación

El sitio donde se produjo el hundimiento, se ubica en centro oriente de la ciudad de Quito,

capital de la república del Ecuador, en el sector conocido como el Censo, sobre el cauce del Principal sistema hidrográfico de la ciudad, denominado río Machángara ver figura 4.1

FIGURA N.- 4.1 PLANO DE UBICACIÓN



Coordenadas: 777.899.66E, 9°974.315.72N

Cota: 2.758 m.s.n.m

4.2 Características Geológicas-Geotécnicas generales del sitio

Dentro de la zona de influencia del intercambiador de El trébol se puede observar aspectos geológicos importantes que son característicos del Valle Intermontano de Quito.

Los principales afloramientos del sector, corresponden a depósitos cuaternarios que se describen a continuación:

(Relleno compactado)

Para crear el espacio suficiente que permita la construcción del intercambiador diseñado para ese sitio, se realiza el embaulamiento del río Machángara en un tramo de

aproximadamente 300 m y sobre ésta estructura se realiza un relleno compactado con material seleccionado (limos-arenosos), de 30 a 40 m de potencia y que corresponde al material involucrado en el hundimiento, De acuerdo a los estudios de suelos realizados en la parte noreste del relleno, sector que no sufrió ninguna afectación, se pudo establecer un compartimiento geomecánico bueno, llegando a valores N de entre 17 y 28, datos obtenidos en las perforaciones realizadas, No se detectó nivel freático **(VER ANEXO N.1 ó Estudio de Suelos)**, al contrario de lo que sucede en el talud sur y sur occidental del hundimiento en donde a una profundidad de 18 m aparecen afloramientos de agua que son motivo de análisis en el numeral 4.4.

(Cangahua)

Son tobas alteradas, típicamente de colores amarillentos a marrones, generalmente intercalada con caídas de cenizas, pómez, paleosuelos y algunas veces flujos de lodos y canales aluviales. Generalmente la cangahua tiene una textura limo-arenosa. El material es muy consolidado, de baja permeabilidad, muy estable en estado seco, cuando se saturan cambian radicalmente sus características geomecánicas, produciendo problemas de inestabilidad de los taludes; generalmente se desprenden en forma de grandes bloques, este tipo de material se encuentra conformando los taludes de la margen izquierda y derecha del río Machángara y alcanza una potencia aproximada de 50 m.

(Conglomerados)

Afloran en los cortes al inicio de la autopista al valle de los Chillos, están constituidos por bloques y gravas subredondeados a redondeados, en una matriz limo arenosa bien consolidada, estos materiales no aparecen en ninguno de los taludes del hundimiento.

(Aluviales)

En la parte baja y asociado a los cauces antiguos del río Machángara se puede apreciar depósitos de aluviales compuestos por bloque subredondeados hasta de tamaños métricos,

en una matriz arenosa (conforman terrazas), el depósito se encuentra bien consolidado y presenta alta resistencia al desprendimiento, con una potencia aproximada a 15 m.

4.3. Hidrología e hidrografía

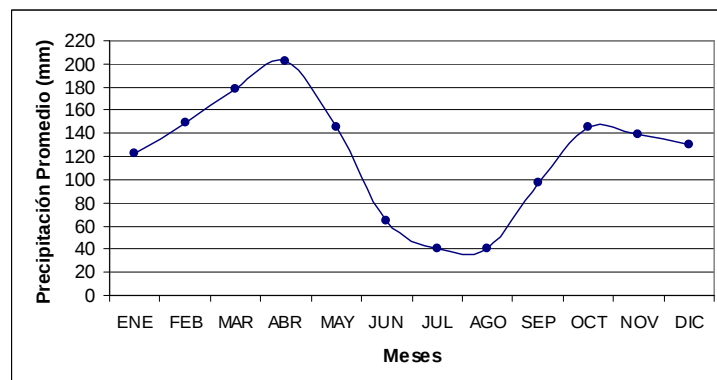
La red hidrográfica de valle sur de Quito, es de tipo dendrítico, teniendo como curso principal el río Machángara que nace en las estribaciones del volcán Atacazo y atraviesa el valle de sur-oeste a nor-este paralelo a la dirección de la cuenca, hasta cerca del Panecillo, en donde toma un giro hacia el este, se profundiza y se dirige hacia el valle de Cumbayá y Tumbaco. Otro drenaje de importancia es la quebrada grande, que se origina en las estribaciones noroccidentales del volcán Atacazo y en un tramo corre paralelo al río Machángara y después se convierte en su afluente.

Los caudales del río Machángara a la salida del valle oscilan entre unos 3 m³/seg en periodo seco, hasta más de 170 m³/s en periodos de lluvia. El Río Machángara es el principal receptor de las aguas servidas de la ciudad de Quito.

La distribución temporal de la precipitación durante el año, muestra que existen dos períodos con lluvia abundante durante los meses de febrero a mayo y octubre a noviembre, mientras que los períodos de menor lluvia ocurren de junio a septiembre y diciembre a enero (Informe Técnico Final Proyecto RLA/8/023 EMAAP-Q, serie de datos desde el año 1962), ver gráfico N.- 1.

GRÁFICO N.- 1 VARIACIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN

(FUENTE EMAAP-Q)



De la información obtenida, se puede determinar que el valor de la precipitación es mayor en el extremo Suroccidental y el flanco Suroriental de la cuenca hidrográfica, con valores entre 2000 a 1300 mm, mientras que hacia el Norte, disminuye entre 1200 y 1100 mm. (ver cuadro N.- 1)

CUADRO No.- 1 PRECIPITACIONES Y TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES

(FUENTE INAMHI)

Nº	ESTACIÓN	CÓDIGO	PERÍODO (Años)	LONGITUD	LATITUD	ALTURA (msnm)	INSTITUCIÓN	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)
1	IZOBAMBA	M003	1962 -2005	772463	9959896	3058	INAMHI	1410.8	11.8
2	QUITO - OBSERVATORIO	M054	1981 -1989	778275	9976643	2820	EPN	1186.8	13.2
3	LA CHORRERA	M335	1977 -2005	774377	9977689	3165	INAMHI	1328.0	10.8
4	SAN JUAN DE CHILLOGALLO	M354	1970 -2005	766086	9968397	3340	INAMHI	2002.0	9.2
5	ATACAZO	P23	1982 -2005	767195	9965170	3865	EMAAP-Q	1315.2	4.5
6	EL TROJE	P25	2000 -2005	775910	9963490	3145	EMAAP-Q	1075.5	11.0

Es importante resaltar que el invierno del año 2008, ha sido uno de los más fuertes de los últimos 20 años, Reportes de prensa (Diario El Comercio, 1 de abril de 2008), recoge datos del INAMHI que señalan que el 31 de marzo de 2008 se produjo una lluvia violenta equivalente a 21 l/m². (**VER ANEXO N. 2 ó Estadística de Lluvias mes marzo y abril de 2008**)

4.4 Características hidrogeológicas

Luego de producido el hundimiento, en el talud sur y suroccidental, aparecen afloramientos de agua subterránea (vertientes), a una profundidad de 20 m medidos desde la cresta del talud (ver figura N. 4.2), que aportaban un caudal total de aproximado de 6 l/s., caudales que como se verá más adelante fueron disminuidos en un 50% con la perforación de pozos de bombeo estratégicamente ubicados.

La aparición de estas vertientes, evidencia la presencia de un nivel acuífero, hacia la parte sur del hundimiento.

FIGURA N.- 4.2 AFLORAMIENTOS DE AGUA TALUD SUR Y SUROCCIDENTAL

(FUENTE NELSON ARIAS abril/2008)



Luego de las observaciones de campo y 3 perforaciones realizadas, se pudo determinar la existencia de un acuífero, cuyo nivel freático se encuentra entre 12 a 15 m de profundidad y que corresponde a materiales granulares con una matriz limo arenosa, el estrato tiene una potencia de aproximadamente 18 m y se configura bajo la explanada que se ubica al sur del hundimiento. La recarga posiblemente se produce en la quebrada de Luluncoto, unos 200m al suroccidente del hundimiento, la dirección del flujo es suroeste-noreste, con dirección hacia el río Machángara (ver figura N. 4.3 óModelo Conceptualô)

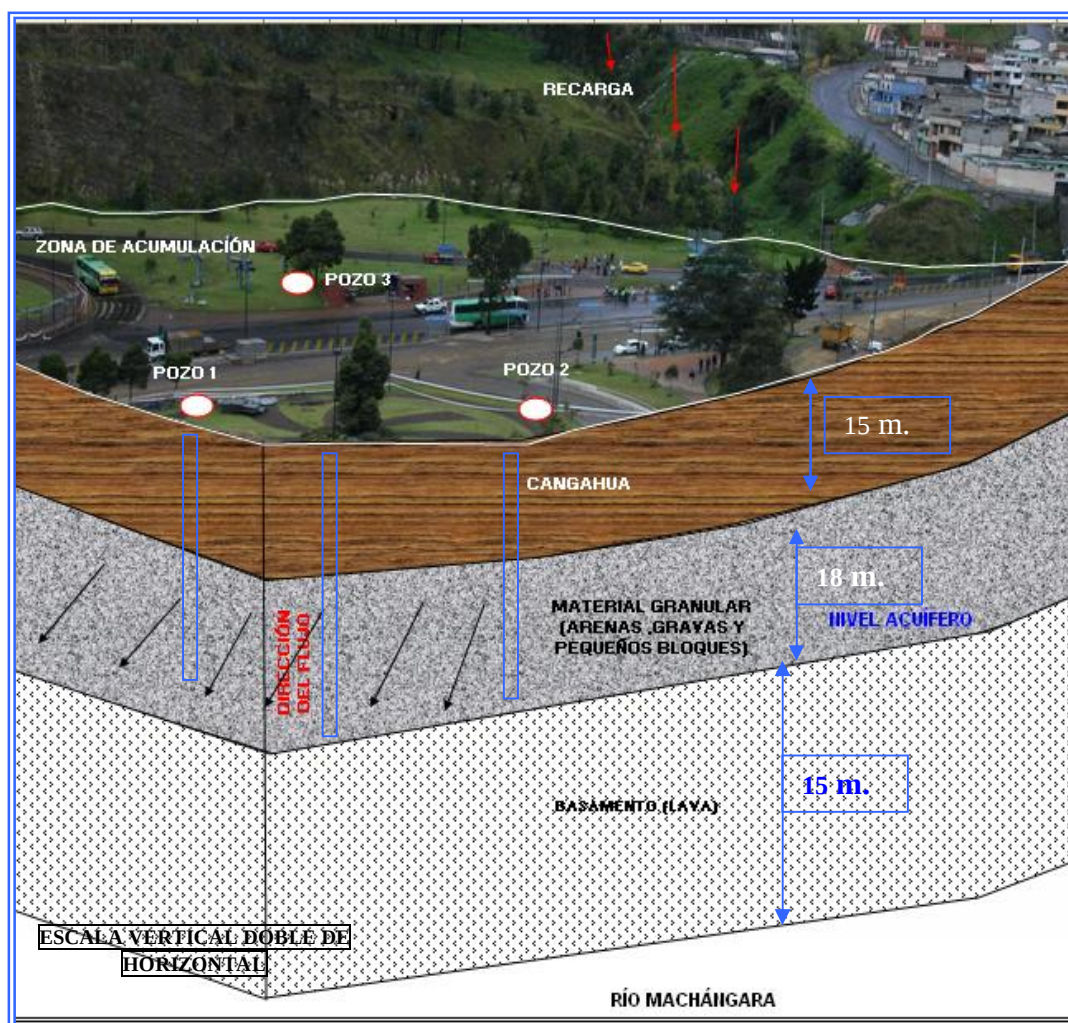
Del bombeo que se realiza en los pozos, los mismos que funcionan ininterrumpidamente, más los aforos de los ojos de agua permanentes del talud sur del hundimiento, se obtiene un caudal aproximado de 10 l/s que se extrae del acuífero (ver cuadro N.- 3, en el numeral 8.3)

Los pozos, desde el mes de mayo, mantienen un nivel estático entre 24 a 28 m de

profundidad. El comportamiento del acuífero durante éste tiempo, nos permite establecer la existencia de una recarga superior a los 10 l/s, que es el caudal que actualmente se descarga del acuífero a través de pozos y vertientes.

FIGURA N.- 4.3 MODELO CONCEPTUAL DEL ACUÍFERO

(FUENTE NELSON ARIAS)



5.- RESEÑA HISTÓRICA

En el sitio conocido actualmente como El Trébol (sector El Censo), para el cruce del río Machángara existía un puente colonial construido de piedra (ver figura N. 5.1), el mismo que debido al desarrollo de la ciudad y el incremento del tráfico vehicular, perdió

funcionalidad y se tornaba urgente la construcción de una estructura adecuada sobre el río Machángara, que permita satisfacer las necesidades del tráfico, que desde el norte de Quito se dirigía hacia el sur de la ciudad y hacia el valle de Los Chillos y viceversa.

FIGURA N. 5.1 PUENTE DE PIEDRA SOBRE EL RÍO MACHÁNGARA

(FUENTE EMAAP-Q año 1985)



Con estas perspectivas, hace 4 décadas, se construye un túnel de 60 m de longitud de 5 m de ancho x 5 m de alto, por donde se desvía al río y se procede con el relleno de su cauce natural (como se puede apreciar en las figuras N. 5.2 y 5.3). Concluido el túnel y el relleno, se construye la vía de prolongación de la Av. Oriental.

FIGURA N. 5.2 PORTAL DE ENTRADA DEL TUNEL

(FUENTE EMAAP-Q año 1985)



FIGURA N. 5.3 VISTA DEL PORTAL DE SALIDA DEL TUNEL Y RELLENO DEL CAUCE PRINCIPAL DEL RÍO (FUENTE EMAAP-Q año 1985)



Debido al crecimiento del tráfico vehicular y la construcción de la autopista al valle de los Chillos, hace 25 años, se construyó el intercambiador denominado El Trébol. La construcción de ésta facilidad vial, demandaba un espacio físico muy amplio y la única alternativa consistía en construir un embaulamiento del río Machángara desde el portal de entrada del túnel construido hace 25 años, hasta unos 150 m aguas arriba, con la misma sección del túnel (26 m²), (ver en la figuras N. 5.4 y 5.5)

FIGURA N. 5.4 EMBAULAMIENTO DEL RÍO MACHÁNGARA
(FUENTE EMAAP-Q, año 1985)



1 óEstudio de suelosô

FIGURA N. 5.5 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL EMBAULAMIENTO

(FUENTE EMAAP-Q)

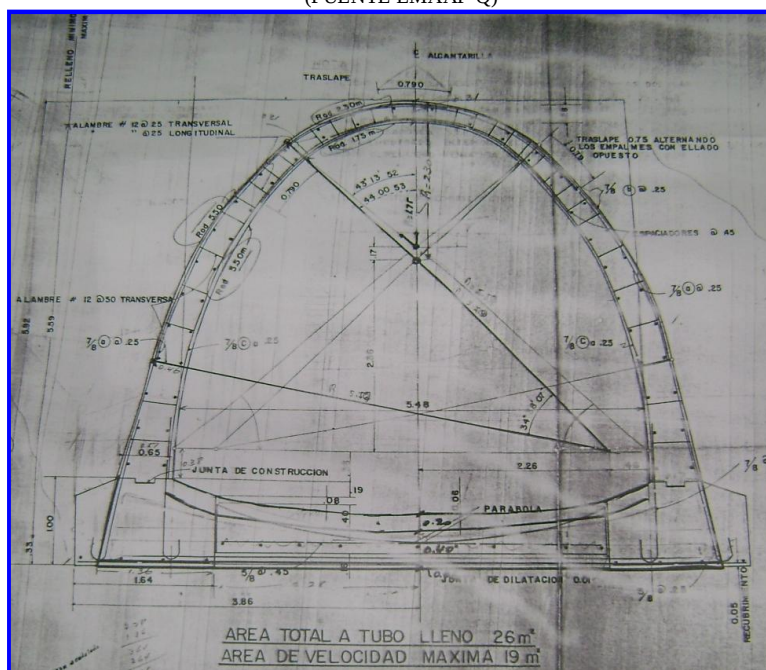


FIGURA N. 5.6 PROCESO DE RELLENO SOBRE EL EMBAULADO DEL RÍO

(FUENTE EMAAP-Q, año 1985)



FIGURA N. 5.7

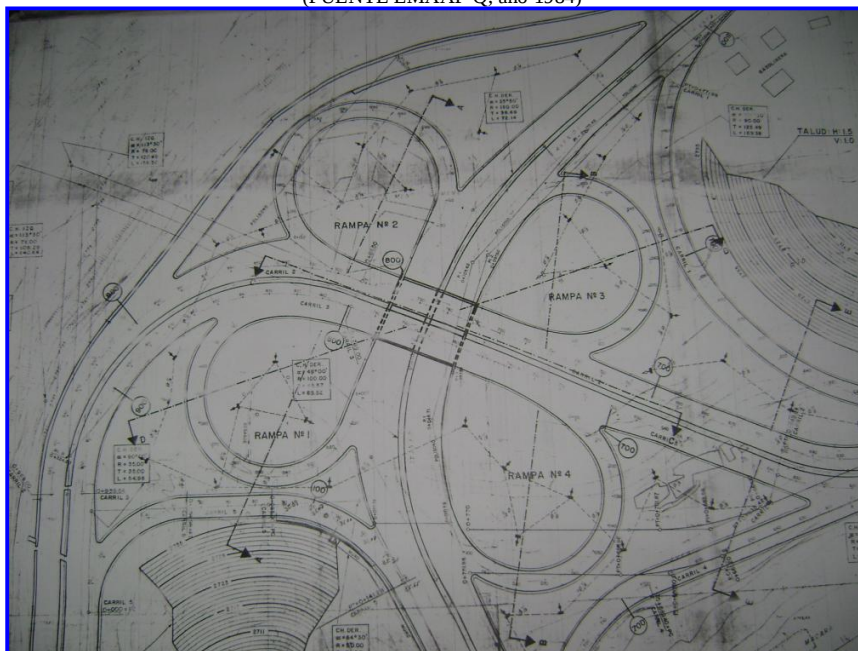
(FUENTE EMAAP-Q , año 1985)



Una vez que se contó con el espacio físico adecuado, realizaron la construcción del intercambiador en base los diseños que se ilustran en la figura N. 5.7

FIGURA N. 5.7 DISEÑOS DEL INTERCAMBIADOR EL TREBOL

(FUENTE EMAAP-Q, año 1984)



6.- HIPÓTESIS SOBRE LAS CAUSAS DEL HUNDIMIENTO

Luego de producido el hundimiento el 31 de marzo de 2008, se vierten las primeras hipótesis sobre las causas que podrían haber provocado este fenómeno y posterior a esto se desarrollan varias hipótesis que veremos a continuación:

6.1. Caudal extremo.

La primera hipótesis que se surge, la plantea un consultor particular (CALLE, Florencio, *Informe Técnico Hundimiento en el Colector de Tránsito El Trébol*, abril 14/ 2008).

El probable detonante de éste problema, fue el gran caudal y material flotante que transporta el río, debido a una lluvia violenta de 21 litros por metro cuadrado¹, que rompió la zona más débil de la bóveda, ubicada a 145 m del portal de entrada, los vecinos del río Machángara, señalan que el agua alcanzó una altura de 2 metros de carga sobre el punto más alto del portal de entrada del túnel, lo que indica que el canal estaba trabajando a presión.

El desprendimiento del recubrimiento de hormigón de la bóveda del embaulamiento, produjo el arrastre de material de relleno, que en pocas horas formó una chimenea de aproximadamente 30 metros de diámetro en la superficie, para luego seguir extendiéndose.

6.2. Proceso erosivo y acción química del agua

Como se describe anteriormente, el río Machángara tiene un compartimiento variable en el tiempo, con disminución notable de caudales en épocas de estiaje llegando a un mínimo de 3 m³/s y aumentos bruscos en épocas húmedas, alcanzando crecidas de hasta 170 m³/s.

Esta dualidad que presenta el río, a mi criterio fue la causa principal para el deterioro de los elementos estructurales (hierro y hormigón), con los que está construido el embaulado

6.2.1. Afectación del río a las estructuras en época de estiaje

Si consideramos que el Río Machángara, es el principal receptor de las descargas de aguas servidas y efluentes industriales de la ciudad de Quito y que el consumo de agua en la ciudad es del orden de los 7 m³/s y un 40% de este caudal (2,8 m³/s), corresponde al consumo de la parte sur de Quito, entonces estamos hablando que en épocas secas, prácticamente el caudal que circula por el río Machángara corresponde a las aguas servidas y efluentes industriales que se producen en el sur. El cuadro No.- 2 muestra las características del agua.

CUADRO N.- 2 ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO MACHANGARA

(FUENTE EMAAP-Q)

			Q	T agua	OD	DBO	DQO	DQ O/D BO	TDS ele	NH ₃ -N	N-NO ₃	P- PO ₄	DET	A y G	Coli T	E Coli
nombre	fecha	MSNM	(m ³ /s)	(°C)	(mg/ l)	(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/ l)	(mg/ l)	(mg/ l)	(#/100 ml)	(#/100 ml)
El Sena	2004-11-23	2763	2.130	16.4	4.2	26.0	265.0	10.1 9	350.00	21.75	0.90	2.00	0.14	5.00	5.50E+07	1.30E+07
El Trébol	2004-11-23	2742		16.1	3.7	46.0	278.0	6.04	276.00	28.25	0.90	2.56	0.16	4.00	1.66E+08	1.70E+07
El recreo	2004-12-20	2812		19.8	0.1	155.0	439.0	2.83	263.00	22.00	1.30	3.35	0.22	5.00	4.80E+07	2.40E+06
Fosforera Ecuatoriana	2004-12-20	2189	0.917	16.8	2.4	96.0	212.0	2.21	249.00	24.25	0.80	1.67	0.16	1.00	6.40E+07	4.00E+06
Colector P.V. Maldonado	2004-12-21	2811	0.086	14.8	0.1	267.0	448.0	1.68	402.00	31.25	1.40	4.10	0.47	11.0 0	2.00E+08	2.90E+07
El recreo	2004-12-21	2812		14.1		92.0	263.0	2.86	348.00	21.00	0.90	2.98	0.23	13.0 0	2.90E+09	2.90E+07
Villaflores	2004-12-21	2785		16.7		128.0	232.0	1.81	256.00	19.25	1.00	2.22	0.31	2.00	1.80E+08	2.40E+07
El Sena	2004-12-21	2763	3.060	15.9	2.1	123.0	237.0	1.93	194.00	23.00	1.00	2.51	0.24		2.00E+08	2.10E+07
El Trébol	2004-12-21	2742		18.4	1.5	100.0	280.0	2.80	266.00	22.25	0.80	1.80	0.15		2.10E+08	3.40E+07
Las Orquídeas	2004-12-21	2695	3.470	15.6	1.7	66.0	224.0	3.39	308.00	20.25	0.50	2.24	0.29		1.90E+08	2.50E+07
El Trasvase	2004-12-21	2235	8.090	17.7	3.0	79.0	255.0	3.23	262.00	18.50	0.30	2.07	0.35		2.90E+09	1.70E+07
Oleoducto	2005-01-17	2903	0.320	17.0	0.3	114.0	310.0	2.72	350.00	24.50	2.20	1.00	0.26	26.0 0	1.90E+08	1.40E+07
Quito Sur	2005-01-17	2842	2.229	17.8	1.6	128.0	453.0	3.54	342.00	20.25	1.20	1.22	0.21	14.0 0	9.60E+07	9.20E+06
El recreo	2005-01-17	2812	1.301	19.1	0.3	150.0	410.0	2.73	325.00	22.50	1.20	1.18	0.34	15.0 0	4.40E+07	6.80E+06
Fosforera Ecuatoriana	2005-01-17	2189	0.517	18.5	1.8	83.0	333.0	4.01	358.00	22.25	1.00	1.00	0.21	10.0 0	4.80E+07	9.60E+06
Colector P.V. Maldonado	2005-01-18	2811	0.053	14.3	0.2	223.0	518.0	2.32	460.00	47.25	1.50		0.19	27.0 0	1.20E+07	7.00E+06
El recreo	2005-01-18	2812	1.366	13.6	1.9	66.0	242.0	3.67	355.00	20.75	1.10	1.60	0.18	5.00	7.30E+06	2.60E+06
Villaflores	2005-01-18	2785	1.486	17.2		134.0	415.0	3.10	315.00	23.25	0.10	1.00	0.17	26.0 0	1.90E+07	1.10E+07
El Sena	2005-01-18	2763	2.697	15.5	1.4	140.0	480.0	3.43	384.00	23.00	0.10	1.72	0.24	17.0 0	2.36E+07	1.24E+07
El Trébol	2005-01-18	2742	2.837	17.4	2.9	89.0	212.0	2.38	293.00	22.25	1.20	1.11	0.24	5.00	1.48E+07	9.40E+06
Las Orquídeas	2005-01-18	2695	3.076	16.4	3.4	65.0	203.0	3.12	295.00	15.00	1.80	1.43	0.32		1.36E+07	5.60E+06
El Trasvase	2005-01-18	2235	6.093	18.0	4.2	66.0	281.0	4.26	215.00	12.35	1.50	3.07	0.47	13.0 0	1.30E+07	5.20E+06
Quito Sur	2005-02-21	2842	1.464	17.7	3.2	122.0	780.0	6.39	262.00	10.25	2.00	1.00	0.35	4.00	2.00E+07	9.00E+06
El recreo	2005-02-21	2812				167.0	531.0	3.18		19.00	1.70	1.53	0.30	10.0 0	3.00E+07	9.20E+06
Fosforera Ecuatoriana	2005-02-21	2189	0.577	15.6	2.6	89.0	238.0	2.67	288.00	18.00	1.80		0.20	16.0 0	9.20E+06	1.80E+06
Colector P.V. Maldonado	2005-02-22	2811	0.090	16.1	0.8	112.0	296.0	2.64	338.00	21.25	1.70	1.92	0.29	6.00	2.60E+07	1.20E+07
Villaflores	2005-02-22	2785	2.327	15.7	0.6	85.0	270.0	3.18	284.00	16.75	1.50	1.92	0.21	2.00	1.10E+07	1.50E+07
El Sena	2005-02-22	2763	2.612	17.1	2.7	121.0	341.0	2.82	331.00	21.25	1.50	1.94	0.29	3.00	2.40E+07	9.00E+06
El Trébol	2005-02-22	2742	2.921	20.4	2.8	101.0	289.0	2.86	257.00	22.00	1.70	2.19	0.29	7.00	1.50E+07	9.00E+06

Vemos claramente que no es el agua común, es una agua alterada, que al ponerse en contacto permanente con el hormigón y hierro, puede causar corrosión y deterioro sistemático de los elementos y el debilitamiento de las estructuras en su conjunto.

6.2.2. Afectación de las crecientes del río a las estructuras

Al Contrario de lo que sucede en épocas secas, el río en invierno tiene caudales altos, como se vio anteriormente llegan hasta 170 l/s, es decir existe una capacidad suficiente para receptor las aguas servidas y provocar una dilución de los elementos, cambiando notablemente la química del agua (disminuye la conductividad, el PH, etc.), es decir se convierte en un agua menos agresiva.

El agua en las condiciones químicas descritas anteriormente, no causa una afectación importante a los elementos que conforman el colector, más bien la afectación esta directamente relacionada a las grandes velocidades del agua y los sedimentos que arrastra el río (bloques de roca de gran tamaño, chatarra, madera, etc), los cuales al chocar con las estructuras producen debilitamiento, fracturamiento y erosión, principalmente de la solera (ver figura N. 6.1).

En base al análisis realizado sobre el comportamiento del río en época seca y húmeda, se puede plantearse la hipótesis que el colapso del embaulamiento se produjo por una alteración sistemática de los elementos estructurales, por la acción química del agua y procesos erosivos producidos a las estructuras por el arrastre de sedimentos de gran tamaño. Esta hipótesis considero que tiene muchos elementos a su favor, como por ejemplo, el hecho de que en el tramo colapsado del colector en la margen izquierda, no se encuentra vestigios de la solera y esto tendría mayor peso, si tomamos en cuenta que el embaulamiento en ese sitio realiza un pequeño quiebre y la fuerza del agua chocaba directamente en la unión del hastial derecho con la solera, provocando su debilitamiento y fallamiento, con las consecuencias ya descritas.

**FIGURA N. 6.1 VISTA DEL INTERIOR DEL COLECTOR AGUAS ARRIBA DEL SITIO
COLAPSADO**

(FUENTE EMAAP-Q, mayo 2008)



El agua provocó la erosión de la solera, dejó sin sustento al hastial derecho e inició un proceso de arrastre de los sedimentos del relleno que cubría el embaulamiento, produciéndose el fenómeno denominado como tubificación, proceso que se aceleró debido a la presencia de flujos subterráneos de agua, tal como se ilustra en las figuras No. 6.2 y 63. Como efecto de este fenómeno, se conforma una caverna, el terreno pierde sustentabilidad y se produce el colapso del relleno, dando lugar a la conformación del cráter. Como se manifestó anteriormente en un inicio el cráter tenía un diámetro aproximado de 30m y 40 m de profundidad, el mismo que debido a los constantes deslizamientos producidos por acción de la fuerte lluvia y la presencia de agua subterránea, alcanzó un diámetro de 120 m y 40 m

FIGURA 6.2 VISTA ESQUEMATICA DEL EMBAULADO DEL RÍO, CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO NATURAL Y RELLENO

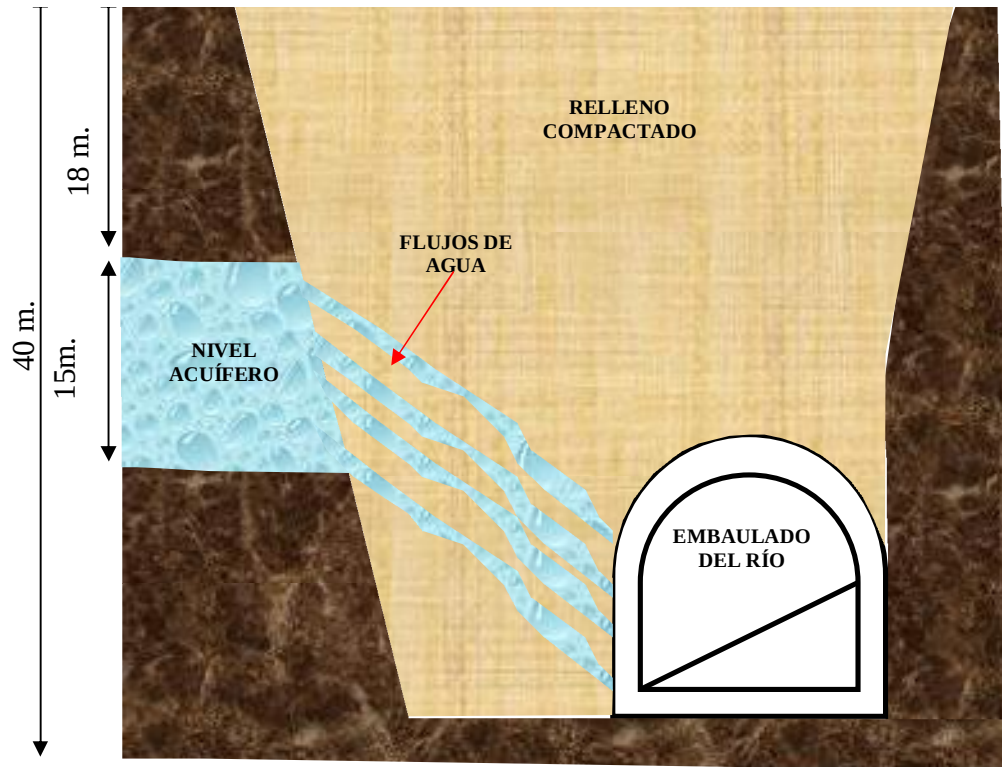
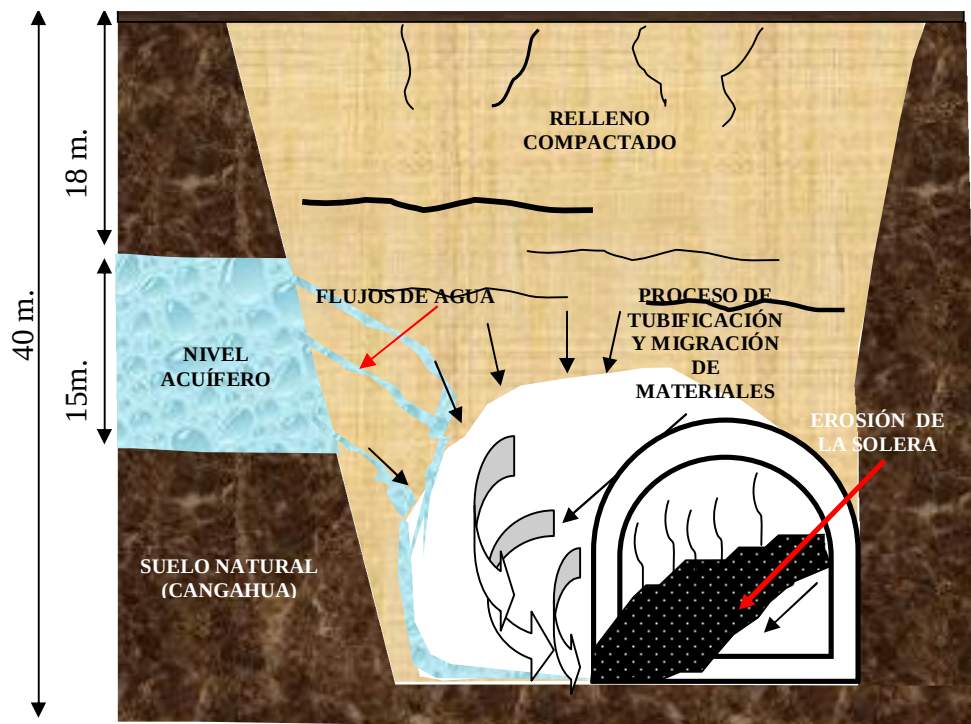
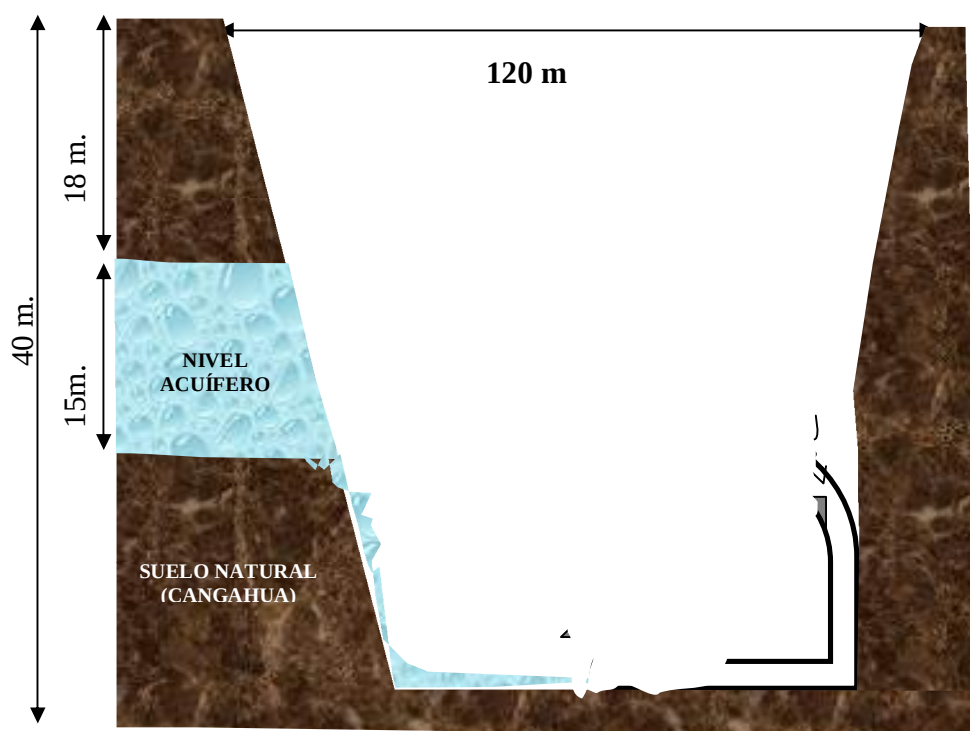


FIGURA 6.3 DETERIORO DE LA SOLERA, PROCESO DE TUBIFICACIÓN, ARRASTRE DE MATERIALES Y POSTERIOR COLAPSO DEL COLECTOR Y RELLENO.



**FIGURA 6.4 CONFORMACIÓN DEL CRATER LUEGO DEL COLAPSO Y
ARRASTRE DE MATERIALES POR ACCIÓN DEL RÍO.**



No debe descartarse la hipótesis, que la modificación del curso del río con el embaulamiento haya sido un factor que influyó en el colapso, debido a que el río buscaba su cauce natural, vale el viejo adagio ótarde o temprano el río vuelve a su cauceô

6.3. Acción del agua subterránea.

Una hipótesis que también debe analizarse, es la acción que produce el agua subterránea y que estaría directamente relacionada con el proceso constructivo.

Para la construcción del embaulamiento y posterior relleno del mismo, los diseños de ésta obra no contemplaron un sistema de drenaje para el agua subterránea que aflora en el talud sur, para evitar la saturación del material de relleno y controlar la presión de poros, que como es conocido, alcanza valores muy altos. Existen muchos ejemplos en donde se observa la capacidad de éste fenómeno físico para fracturar muros de alta resistencia en obras hidráulicas como: presas, túneles, reservorios, viaductos, etc.

7.- SIMILITUD CON OTROS HUNDIMIENTOS PRODUCIDOS EN EL PLANETA.

Investigando en el Internet, existen pocos casos de hundimientos que se asemejen al producido en el Trébol, el caso más parecido es el ocurrido en Guatemala el 24 de febrero de 2007, ver siguiente nota de prensa:

Febrero 24, 2007 Diario El Herald, Guatemala

Hundimiento En Guatemala



Esto sucedió en un populoso barrio de Ciudad de Guatemala, capital de Guatemala. Realmente impresionante Dos personas murieron y un millar más fue evacuado de un populoso barrio capitalino, luego de que un hundimiento del terreno provocó una gigantesca grieta que se tragó cerca de una decena de casas. El hundimiento ocurrió el jueves por la noche en un barrio popular del norte de la capital guatemalteca. El agujero tiene un diámetro de 35 metros y la profundidad es aún mayor aunque no han podido medirla todavía, informó el jefe de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (Conred), Hugo Hernández.

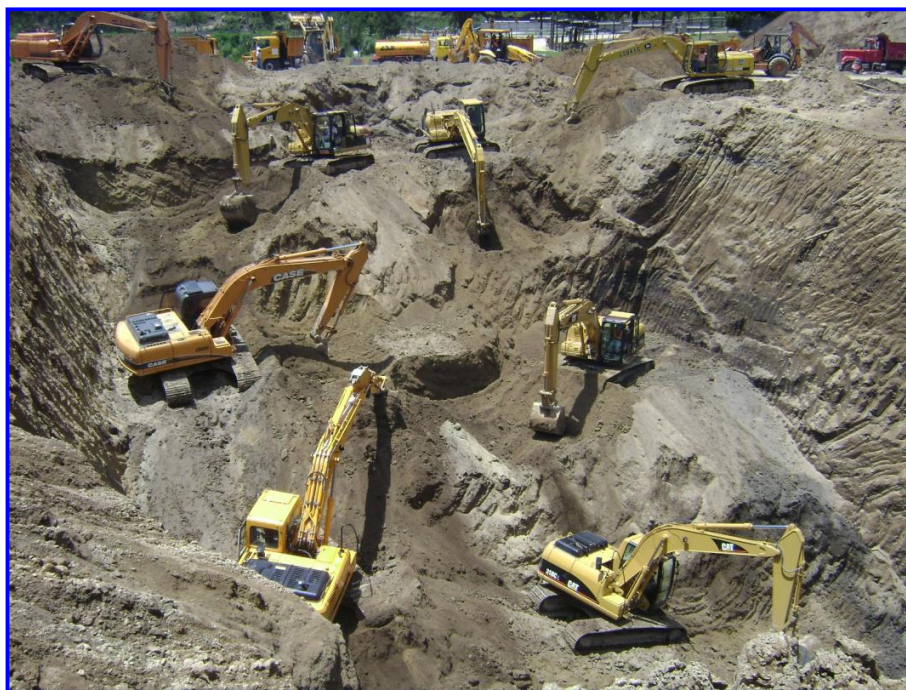
óDe acuerdo con el subgerente de la Empresa Municipal de Agua, Hugo Vásquez, el boquete fue causa de la filtración de agua de un tubo que sirve de desagüe para toda el agua de lluvia y aguas negras del norte de la capital. "Se había taponado pero ya quedó liberado y no será necesario dinamitar", dijo en una improvisada rueda de prensa en el lugar del desastre el director de desarrollo social de la municipalidad, Álvaro Hugo Rodas.ô

8.- ACTIVIDADES EJECUTADAS

La principal acción que se ejecutó fue la de realizar un acceso hasta el sitio de ruptura del embaulado (ver figura N. 8.1), para efectuar una inspección visual del sitio, planificar un cruce en bote por el interior del embaulado y realizar observaciones su estado.

FIGURA 8.1 CONSTRUCCIÓN DE ACCESO AL SITIO DE COLECTOR COLAPSADO

(FUENTE NELSON ARIAS , mayo 2008)



Debido a la inestabilidad y continuo derrumbe de los taludes, esta actividad tardo en realizarse y finalmente el 9 de abril de 2008, se logra realizar la inspección, luego de

remover unos 40.000 m³ de relleno, el mismo que fue acopiado en lugares aledaños, para uso posterior.

8.1 Inspección del interior del embaulado

El 9 de abril de 2008, un equipo especial del cuerpo de bomberos de Quito, utilizando un bote de goma, realizan el cruce desde la entrada del colector, hasta el sitio colapsado, aproximadamente 150 m. obtienen varias fotografías y videos del estado de los hastiales y solera, ver figuras N. 6.1, 8.2 y 8.3, en donde se aprecian fisuras y filtraciones que deben ser analizadas detenidamente, para ver el riesgo que representan estas alteraciones, en el funcionamiento estructural del embaulado.

FIGURA 8.2 VISTA DE FALLAS EN EMBAULADO

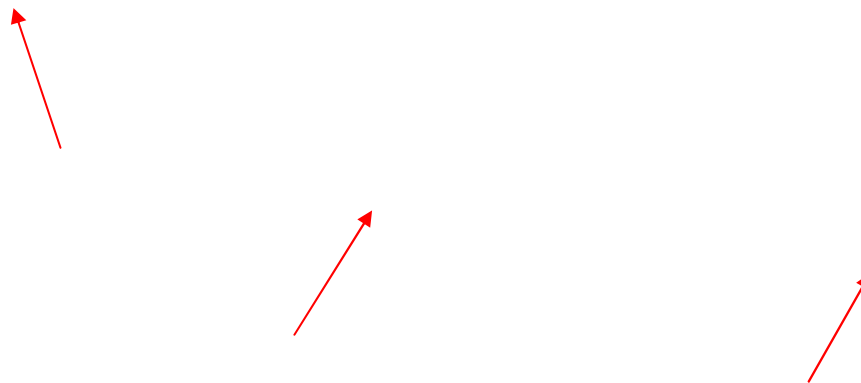
(FUENTE NELSON ARIAS año 2008)



FIGURA 8.3 VISTA DE FISURAS Y FILTRACIONES EN ESTRUCTURAS

(FUENTE NELSON ARIAS, año 2008)





8.2 Estudio de suelos.

La inquietud principal que surge inmediatamente después de producido el hundimiento, se centra en establecer las condiciones físico mecánicas de la parte restante del relleno que no sufrió afectación por el colapso del embaulamiento y utilizar ésta área para la circulación de vehículos.

Con éste cometido se ejecutaron tres perforaciones en seco, con SPT (ensayos de penetración estandar), cada metro, determinándose el número de golpes de acuerdo a la norma ASTM D 1586 ñ 99, las muestras obtenidas fueron descritas de manera visual en el campo (CAZAR, Fander, INTERCAMBIADOR EL TREBOL *óInforme Resultado de las Perforaciones Geotécnicas Ejecutadas en el relleno de Suelo Sobre y próximas al Colector Dañado*, abril 14/ 2008). **(VER ANEXO N.1 Estudio de Suelos)**

CUADRO NO.- 3 RESUMEN DE PERFORACIONES

PERFORACIÓN	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD	VALORES	LITOLOGÍA	COMENTARIOS
-------------	-----------	-------------	---------	-----------	-------------

N.-		(m)	(N _{SPT})		
1	Al norte del eje del colector a 20 m de distancia	20.50	12-23	Limo arenoso color café amarillento	No existe nivel freático, la compactación aumenta con la profundidad
2	A 4 m de distancia al sur del eje del colector	21.50	11-28	Limo arenoso color café amarillento	No existe nivel freático, la compactación aumenta con la profundidad
3	42 m al sur del eje del colector y a 100 m del hundimiento	23.70	12-18	Limo arenoso color café amarillento	No existe nivel freático, la compactación aumenta hasta los 20 m, luego aparece un nivel húmedo, suelto con materia orgánica y valores N de 5 a 8

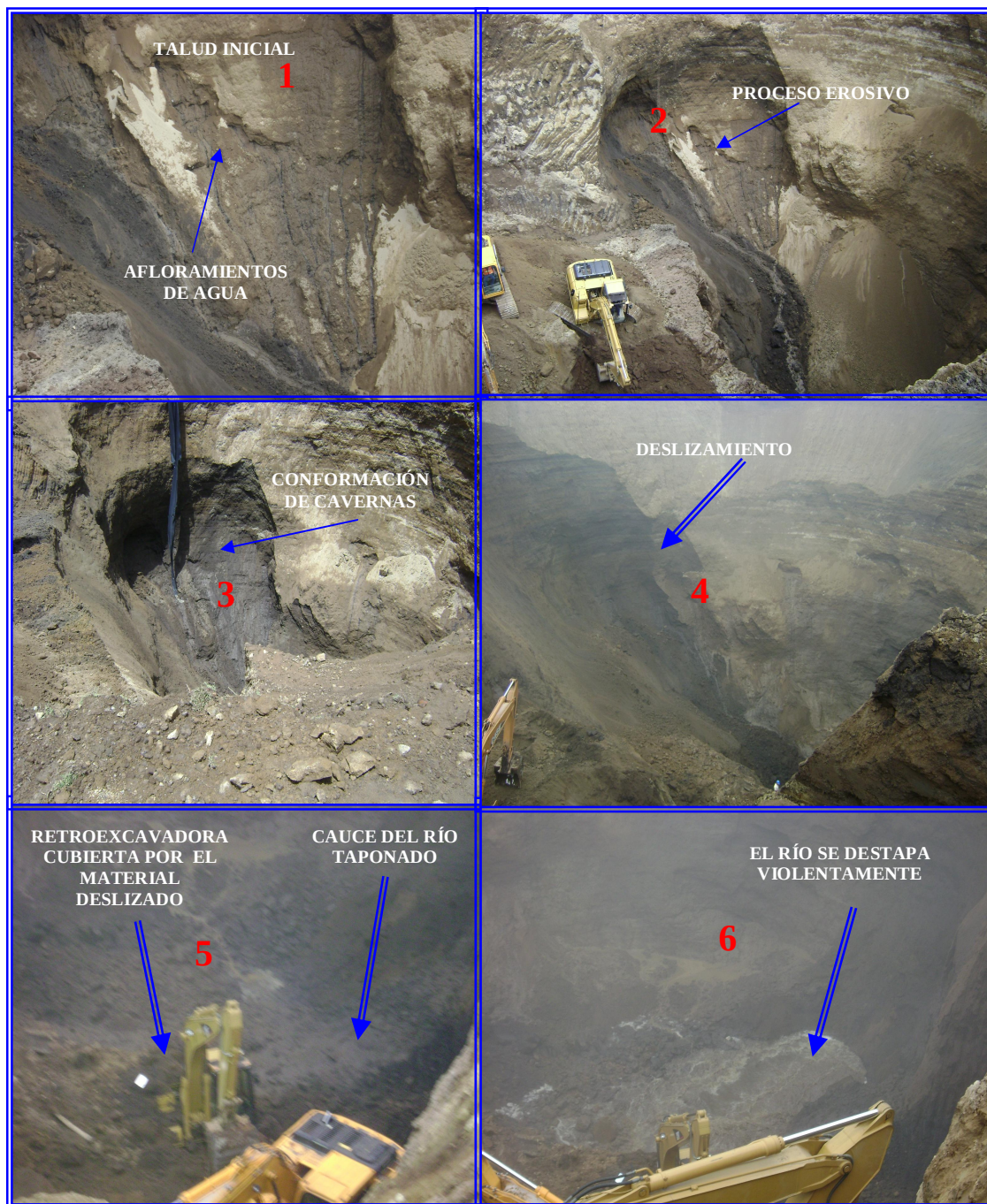
De los resultados de las investigaciones, se puede colegir que el relleno se presenta estable, sin embargo es necesario profundizar las investigaciones en el sector del pozo 3 en donde las condiciones a partir de los 18 m se notan desfavorables (valores N bajos, presencia de humedad y contenido de materia orgánica), fenómenos que pueden influir directamente en la funcionalidad y resistencia del relleno.

8.3. Control de afloramientos de agua en los taludes sur y suroccidental

Una de las tareas a la que se dio mayor importancia, corresponde al control de los afloramientos de agua subterránea en los taludes sur y sur occidental del hundimiento, cuyo caudal era del orden de los 6 l/s, el mismo que provocaba una continua erosión, arrastre de materiales y el consecuente desprendimiento de los taludes, este fenómeno impedía la ejecución de los trabajos para acceder hasta la zona colapsada y realizar una evolución del estado del colector, ya que ponía en riesgo inminente, al personal, equipos y maquinaria (ver figuras N.- 8.4, donde se aprecia el proceso de erosión por acción del agua subterránea (fotos 1, 2 y 3), hasta que se produce un gran deslizamiento (foto 4), que cubrió una retroexcavadora y produjo un taponamiento del río, que duró aproximadamente 45 minutos (foto 5) y luego se produce el destape violento del río (fotos 6).

FIGURA N. 8.4 PROCESO DE EROSIÓN Y DESLIZAMIENTO DEL TALUD SUR, POR ACCIÓN

DEL AGUA SUBTERRÁNEA (FUENTE NELSON ARIAS, año 2008)



La inestabilidad de los taludes sur y suroccidental debido al efecto del agua subterránea, era un aspecto que debía controlarse de inmediato para no poner en riesgo la vida de los trabajadores, se imposibilitaba el acceso hasta el sitio de los afloramientos para realizar perforaciones horizontales y colocar un sistema de drenaje, entonces la alternativa era la

perforación de 3 pozos perimetrales en la zona de acumulación del acuífero (ver figura No. 4.3 óModelo Conceptual del Acuífero y figura N. 8.5 óPerforación y desarrollo del pozo N.-26).

FIGURA N.8.5 PERFORACIÓN Y DESARROLLO DEL POZO N. 2

(FUENTE NELSON ARIAS año 2008)



La perforación de los pozos y el bombeo continuo de los mismos con un caudal total de 7 l/s, permitió la disminución notable del caudal en los afloramientos de los taludes, de 6 a 3 l/s., ver cuadro No. 3, en donde se detalla las características de los pozos los caudales que se extraen actualmente del acuífero

CUADRO N.3 CARACTERISTICAS DE POZOS Y VERTIENTES

DESCRIPCIÓN	PROF. (m)	DIÁMETRO (pulgadas)	PROF. NIVEL PIEZOMÉTRICO (m)	PROF. NIVEL ESTÁTICO (m)	PROFUNDIDAD DE LA BOMBA (m)	CAUDAL l/s.
POZO 1	32	8	12	20	25	1.2
POZO 2	37	8	15	22	24	2.0
POZO 3	38	8	15	23	27	4.0
VERTIENTES	20		-	-	-	3.0
					TOTAL:	10.2

La reducción del caudal de agua en los afloramientos de los taludes, disminuyó el riesgo de deslizamientos y permitió continuar los trabajos para la construcción del acceso hasta el

sitio del colector colapsado, realizar perforaciones horizontales de 12 m para colocación de 29 drenes y descargar el agua subterránea directamente al río Machángara, como se ilustra en las figuras siguientes N. 8.6 y 8,7 :

FIGURA N. 8.6 PERFORACIÓN PARA DRENES

(FUENTE NELSON ARIAS, MAYO 2008)



FIGURA N. 8.7 COLOCACIÓN DE DRENES

(FUENTE NELSON ARIAS, mayo 2008)



8.4 Cont

Luego de producido el hundimiento, las precipitaciones en Quito eran muy fuertes, aspecto que coadyuvaba para que se produzcan más deslizamientos en los taludes del cráter, por lo tanto, era necesario canalizar adecuadamente las aguas lluvias y evitar que éstas escurran por los taludes, para esto, fue necesario la construcción de zanjas perimetrales revestidas, tanques receptores y desde aquí el agua por medio de tuberías, se descargaba directamente al río (ver figura 8.8).

FIGURA N. 8.8 CONSTRUCCIÓN DE ZANJAS PERIMETRALES

(FUENTE NELSON ARIAS, mayo 2008)



8.5 Estabilización de taludes

Precautelar la seguridad del personal es el principio fundamental, bajo esta premisa, no se podía correr ningún riesgo y había que dar todas las garantías, para esto y obviamente para evitar que se produzcan más deslizamientos, se planificó como principal acción, un trabajo de alivianamiento y tendido de taludes (ver figura N. 8.9).

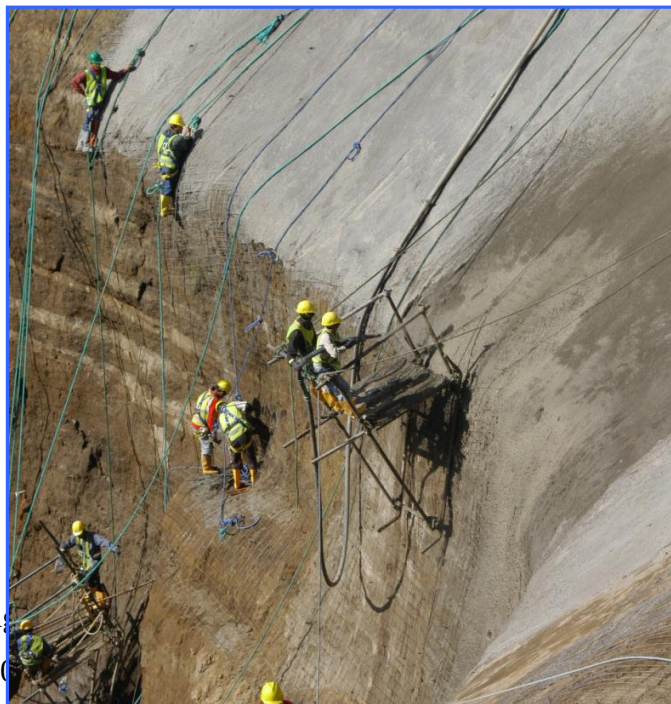
FIGURA N. 8.9 ALIVIANAMIENTO Y TENDIDO DE TALUDES

(FUENTE NELSON ARIAS, mayo 2008)



Terminado el tendido de taludes, se realizó la protección y fortalecimiento de éstos, mediante mallas, hormigón lanzado de 210 Kg/cm² y 5 cm de espesor y la colocación de pernos de anclaje de 3 m de largo x 14 mm de diámetro (ver figura 8.10).

FIGURA N. 8.10 PROTECCIÓN Y FORTALECIMIENTO DE TALUDES CON HORMIGÓN LANZADO (FUENTE NELSON ARIAS, mayo 2008)



El proceso de hormigón lanzado se realizó en varias etapas, que en total suman un área de 420 m².

FIGURA 8.11 VISTA DE TALUDES LUEGO DE CONCLUIDO EL HORMIGONADO

(FUENTE NELSON ARIAS, mayo 2008)

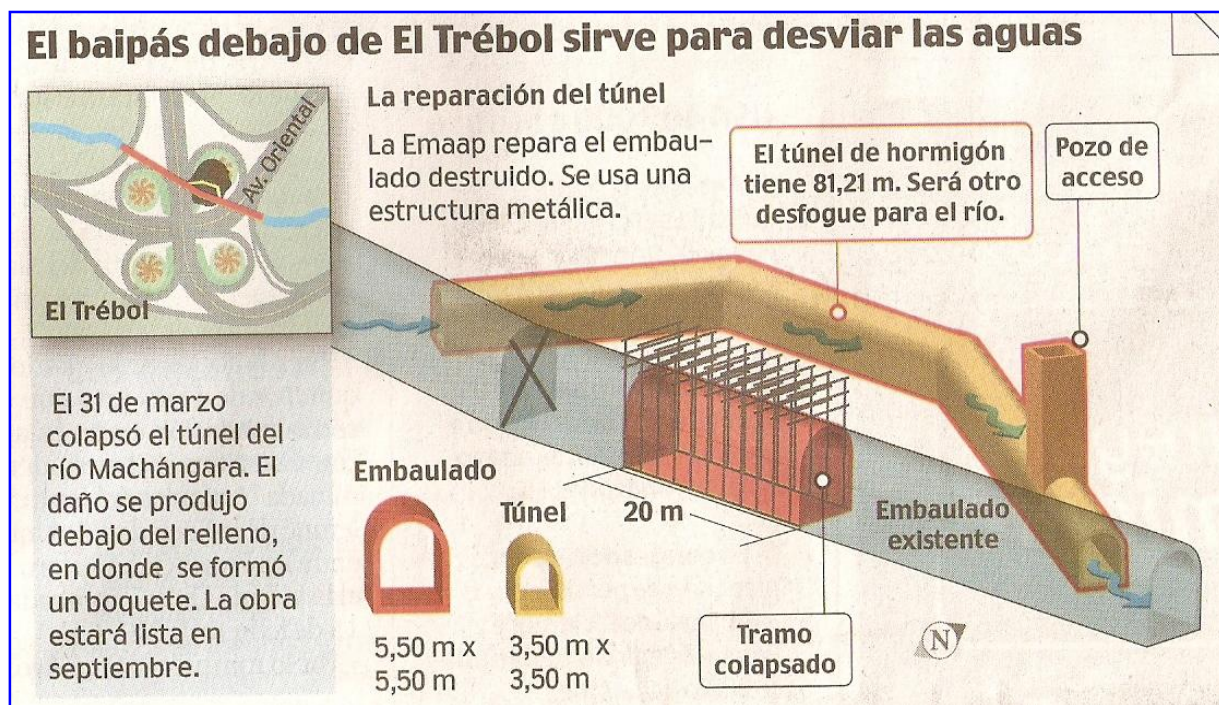


8.6. Desvío del río Machángara

Como se detalló anteriormente, una vez que se pudo acceder hasta el sitio del colector colapsado, con la ayuda del cuerpo de bomberos se logró realizar una inspección de los hastiales y bóveda del colector, en el tramo desde la entrada hasta el sitio de la ruptura, este trabajo permitió tener una visión bastante buena del estado de estos dos componentes del embaulado, quedando la incertidumbre sobre el estado de la solera, por lo que los técnicos de la EMAAP-Q consideraron necesario conocer cual era la situación de este estructura, para lo que se definió la construcción de un baipas de 12 m² de sección x 81,21 m. de largo, cuyo portal de acceso está ubicado 45 m aguas arriba del colapso y el portal de salida 30 m aguas abajo, como se ilustra en la figura N. 8.12. **(VER ANEXO 3 óPlanoô)**

FIGURA N.- 8.12 BAIPAS

(FUENTE EL COMERCIO 2 DE AGOSTO DE 2008)



Los trabajos correspondientes a ésta obra se concluyeron el día martes 29 de julio de 2008 y el día miércoles 30, se desvió el río y se realizó una inspección del estado del colector en los tramos aguas arriba, hasta el sitio de entrada del baipas y aguas abajo hasta el sitio de salida del mismo, esta inspección permitió verificar con mayor claridad, el estado del embaulamiento en estos tramos y profundizar los resultados de la primera observación realizada por el equipo especial del cuerpo de bomberos, que fue descrita en el numeral 8.1.

Los reportes técnicos, hacen hincapié en el pésimo estado de la solera en el tramo inspeccionado y la presencia de procesos de socavación lateral, resaltan además un hecho muy importante, que llamo la atención, es el observar que la solera del colector había sido construida con hormigón ciclópeo (sin refuerzos de acero), ver figura N. 8.12, es decir no tenía un comportamiento estructural y la resistencia suficiente para soportar los embates erosivos de las fuertes crecidas y el arrastres de sedimentos río.

FIGURA N.- 8.12 VISTA DE UN A MUESTRA DE LA SOLERA, CONSTRUIDA CON HORMIGÓN CICLÓPEO (FUENTE NELSON ARIAS, mayo 2008)





En otro lugar, unos 5 m aguas arriba del sitio del colapso, se puede ver que el embaulado, forma un resalto de casi 1.5 m de altura, aspecto que también habría tenido una fuerte influencia en la destrucción de la solera, debido la caída y el impacto que producen los sedimentos gruesos sobre ésta.

Respecto a los hastiales y bóveda existen fisuras y filtraciones que no revierten mayor peligro y que ameritan un tratamiento correctivo.

En lo que se refiere al tramo colapsado, la solera prácticamente desapareció, se detectó boquetes en el cauce, de hasta tres metros de profundidad, ver figura 8.13.

Estas anomalías encontradas, refuerzan la hipótesis del efecto erosivo y acción química de las aguas del río Machángara, como la principal causa para el colapso del embaulamiento y el posterior hundimiento del relleno, a la que se debe añadir las evidentes fallas constructivas.

FIGURA 8.13 VISTA DE LA SOLERA DESTRUIDA

(FUENTE NELSON ARIAS, mayo 2008)



9.- ALTERNATIVAS DE SOLUCION A LA CONDUCCIÓN DEL RÍO

Las autoridades del Municipio de Quito, plantean dos soluciones al problema del hundimiento y colapso del colector que son:

- 1 Una solución emergente que consiste en la reconstrucción del colector colapsado y el relleno del orificio formado por el hundimiento,
- 2 y una solución definitiva, para 150 años, corresponde a la construcción de un túnel de aproximadamente 420 m de largo, para desvió del río Machángara.
- 3 Por otro lado, mi propuesta como aporte a la solución de este problema, se manifiesta en el sentido de recuperar para el río su cauce natural, eliminando embaulamientos, desvíos o rellenos y cualquier solución vial debería basarse en la construcción de sistemas de puentes , túneles o viaductos.

9.1 Reconstrucción del colector colapsado y relleno del cráter

Una vez que se logró desviar el río y observar in situ las condiciones de las estructuras del colector en la parte no afectado y las del tramo que sufrió el colapso, se iniciaron los trabajos de reparación y reconstrucción de las estructuras bajo la siguiente prioridad:

- 1.- Reforzamiento de las estructuras en los tramos aguas arriba, hasta la entrada del baipas y aguas abajo hasta la salida del mismo.
- 2.- Reconstrucción del tramo colapsado
- 3.- Relleno del cráter formado por el hundimiento

Las actividades correspondientes al punto uno, comprende el reforzamiento de la solera, reparación de los fisuras, control de filtraciones e inyecciones de contacto, ver figura N.9.1.

FIGURA N. 9.1 RECONSTRUCCIÓN DE SOLERA

(FUENTE NELSON ARIAS, mayo 2008)



Para la reconstrucción del tramo colapsado, la solución planteada por los técnicos de la EMAAP-Q, consiste en la conformación de una nueva solera, con condiciones estructurales que soporten la acción erosiva del río y un encajonado que inicia con el hincado de pilotes

de 80 de diámetro, en las dos márgenes del río, los mismos que sirven de soporte para la conformación de la estructura metálica, como se aprecia en la figura No.- 9.2. La estructura, es la parte de soporte de las laminas de acero que servirán de base para las losas y muros que conformarán el nuevo embaulamiento del río en un tramo de 20 m, corresponde a la parte destruida del antiguo embaulado .

FIGURA N. 9.2 RECONSTRUCCIÓN DEL TRAMO COLAPSADO DEL COLECTOR

(FUENTE NELSON ARIAS, mayo 2008)



Para controlar los afloramientos de agua subterránea y no afectar a las estructuras reconstruidas, los drenajes del talud sur y suroccidente, son conducidos por ductos que trasladan el agua hasta una cámara filtrante construida con grava seleccionada, la misma que desagua directamente al río, luego se procedió con el relleno compactado del orificio que dejó el hundimiento ver figura N. 9.3.

FIGURA N. 9.3 PROCESO DE RELLENO DEL CRATER

(FUENTE NELSON ARIAS, mayo 2008)



Para el relleno se está utilizando el material producto del descapote y peinado de taludes que fue acopiado en sitios aledaños al trébol (aproximadamente 40.000 m^3), el material restante para reponer la parte que fue arrastrada por el río, será extraído de zonas de préstamo cercanas, en un volumen aproximado de 80.000 m^3 .

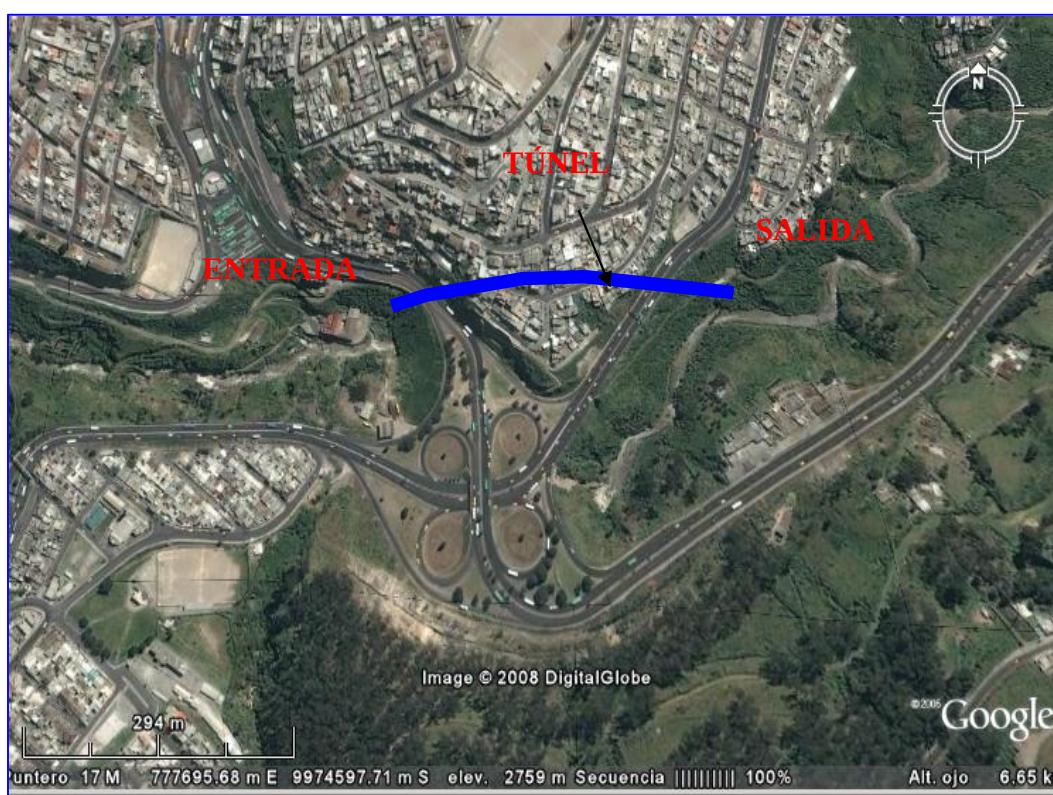
Para esta explotación, es necesario, que se establezca claramente los sitios de préstamo, y realizar el plan de explotación, dentro del cual se debe incluir el Estudio del Impacto Ambiental y la Gestión del Riesgo, en donde se identifiquen claramente las acciones de prevención y mitigación de manera prioritaria.

Los trabajos de reconstrucción del tramo de colector colapsado y el relleno del boquete ascenderían a la suma de 2 millones de dólares (Fuente EMAAP-Q)

9.2 Construcción de un túnel de desvío

Como alternativa definitiva, las autoridades del Municipio y el señor alcalde, plantean la construcción de un túnel de desvío del río de 400 m de longitud y con capacidad para conducir un caudal de 300 m³/s (sección 144 m²), superando en un 150% al actual, que tiene una capacidad de conducción de 119 m³/s, cuyo costo aproximado sería del orden de los 7 millones (Fuente EMAAP-Q). Según los técnicos, esta obra tendrá una vida útil de 150 años, ver figura N. 9.4 (**VER ANEXO N. 4, óPlano de implantación**)

FIGURA N. 9.4 TRAZADO DEL PROYECTO DE TÚNEL



9.3 Recuperar el cauce natural del río

Conocemos que los ríos, sean estos de montaña o de llanura, tienen un comportamiento impredecible y una tendencia a cambiar su cauce de manera intempestiva y en función de las condiciones morfológicas de la zona y la intensidad de las precipitaciones.

Los aspectos anotados, nos llevan reflexionar sobre cualquier obra que se quiera realizar sobre ríos o quebradas. Antes de planificar cualquier infraestructura se debe realizar un

estudio hidrológico, hidrodinámico con datos confiables, del río y la cuenca de aporte, estableciendo bases históricas del comportamiento de estos sistemas, que permitan hacer un modelo lo más cercano a la realidad del comportamiento del río en el tiempo y el espacio, sobre ésta base realizar los diseños hidráulicos de embaulamiento, desvío o conducción.

Una vez que se cuente con toda la información hidrológica y los diseños hidráulicos, se debe realizar estudios amplios y precisos, sobre las condiciones geológicas, geotécnicas, estructurales e hidrogeológicas locales e incluso regionales, para establecer las condiciones de cimentación de las estructuras, rellenos y área de influencia del proyecto.

Estos son parámetros básicos que deben cumplirse para realizar obras de intervención en cauces de quebradas o ríos. Los organismos seccionales, gremios profesionales, etc., son los entes llamados a velar por el cumplimiento de los estudios y validar los mismos.

Si un proyecto de esta naturaleza no cuenta con todos los estudios revisados y avalados, simplemente no debe ejecutarse, en este caso siempre será mejor dejar que el río siga su cauce.

“Cualquier proyecto o acción que se ejecute, debe estar en armonía con el comportamiento natural del planeta, pasaron cientos, miles y millones de años para lograr un equilibrio, procuremos no modificarlo”. (Nelson Arias)

En el caso del río Machángara, a pesar de ser un sistema hídrico muy estudiado, no se cuenta con un histograma de su comportamiento, razón suficiente para abstenerse de realizar cualquier intervención o relleno, por lo que desde mi punto vista, tanto por seguridad de los usuarios, garantía de las obras y costos, recomiendo, que se rehabilite el cauce original del río y se deje libre curso de las aguas.

10.- SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA DEL TRÁFICO DEL SECTOR DE EL TREBOL.

Sobre éste tema, he realizado una transcripción de dos artículos de expertos viales DESCALZI, Ricardo, La solución al problema de tráfico de El Trébol, revista de la Asociación de Compañías Consultoras del Ecuador, mayo/2008 y ARIAS, César, óla emergencia vial de Quito, publicación revista SIGMA, Colegio de Ingenieros Civiles de pichincha, junio/ 2008) y recogido la propuesta del Ilustre Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, declaraciones del señor alcalde, diario El Comercio Sábado 2 de agosto de 2008.

Sobre las soluciones planteadas, no emito ningún juicio de valor, por no ser un experto en el tema.

Descalzi, Ricardo

ÓDada la forma de la ciudad, de aproximadamente 33.7 km. de largo y 4 Km. de ancho promedio, la movilidad de Quito requiere de una urgente reingeniería de sus vías principales, entre ellas y la de mayor conflictividad de la ciudad constituye el intercambiador de El Trébol.

A este sector confluyen alrededor de 30.000 vehículos que vienen o van al Valle de los chillos e interactúan con los tráficos, norte ñ sur, sur ñ norte y este ñ oeste, oeste ñ este de la ciudad, que utilizan las avenidas Napo, Oriental y Cumandá.

La capacidad del intercambiador de tráfico que opera en el sector, no satisface las necesidades del tráfico, constituyendo un nodo de alta complejidad.

El presente esquema, es el perfil de un corredor transversal a la ciudad, el que recogería los tráficos antes indicados y mediante viaductos, túneles, pasos a desnivel y rampas aéreas, solucionaría la problemática de El Trébol y permitiría captar y distribuir el tráfico a lo largo de su recorrido: entre las Avs. Napo y Occidental (intercambiador Miraflores), en condiciones de seguridad y fluidez.ô Como se ilustra en la figura siguiente:

ENLACE AV. NAPO - AV. OCCIDENTAL
SOLUCION DE TRAFICO INTERCAMBIADOR EL TREBOL
D.S. Consultores Cia. Ltda
INGENIERO RICARDO DESCALZI
AÑO 2008

óHundido El Trébol, que es una de las pocas conexiones del valle de los Chillos con Quito y paso Vital para el tráfico norte-sur-norte, los ciudadanos y especialmente los de estos sectores, incrementaron dramáticamente, sus costos de transporte operación y tiempos de viajes.

Arias plantea, que debido a la conformación geográfica, será necesario construir túneles y puentes, también es necesario que se construya otro túnel sur que saliendo de la Alpahuasi pueda llegar hasta la Autopista Gral Rumiñahui para conectar al Valle de los Chillos.ô

MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

El proyecto del Municipio contempla, que una vez concluida la reconstrucción del colector y ejecutado el túnel para desviar las aguas del río Machangara, se construya un relleno amplio y convertir al sitio en una estación de transferencia, hasta donde llegue el transporte público que viene del valle de Los Chillos, del centro norte y sur de Quito, esta alternativa, según los técnicos, aliviaría y descongestionaría el tráfico en ese sector.

11.- GESTIÓN DEL RIESGO EN PROYECTOS INGENIERILES

óHablar de gestión de riesgo significa desarrollar una serie de medidas que permitan conocer y dimensionar todos los elementos relacionados con los riesgos para poder hacerles frente, hacerlos decrecer o en el mejor de los casos anularlosô (tomado del libro pobres x desastres, Desastres de origen natural y cooperación al desarrollo, Agencia Catalana de Cooperación al Desenvolupament).

La Gestión del Riesgo, es un tema que empíricamente las poblaciones desde siempre lo han aplicado en su diario convivir, como política de estado es un instrumento nuevo que esta sentando cimientos en los gobiernos nacionales, seccionales, locales y organizaciones comunitarias, etc. y si contara con el apoyo político y económico necesario, evitaría muchos desastres, salvaría muchas vidas y ahorraría ingentes recursos económicos a los estados. La Gestión del Riesgo, debe estar inmersa en todos los ámbitos de la sociedad,

debe ir formando parte de la cultura de los pueblos.

En el caso de obras ingenieriles, la Gestión del Riesgo debe constar como parte de los estudios, estableciéndose claramente las acciones de prevención, mitigación, monitoreo y plan de emergencias.

La Ley de Contratación Pública, debe incluir en su texto una normativa que obligue la inclusión de la Gestión del Riesgo en las obras de ingeniería de mediana y gran magnitud.

12.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1. Conclusiones.

- Es común que en ciertos sectores debido a la morfología del terreno, se realicen rellenos de quebradas o ríos para crear espacios físicos que permitan el desarrollo de parques, áreas de recreación, terminales terrestres, intercambiadores, estaciones de transferencia, sin embargo si estas no cuentan con estudios completos y validados, que abarque aspectos hidrológicos, hidrodinámicos, hidrogeológicos, geológicos, geotécnicos y este inmersa la Gestión del Riesgo, son obras vulnerables, que en cualquier instante podrían generar desastres.
- De los aspectos que se han podido observar hasta el momento en el caso del hundimiento de El Trébol, se puede evidenciar que el tanto el túnel construido en la primera fase, el embaulado y relleno posterior, no contaban con estudios adecuados.
- Se evidencia una falta de control y seguimiento constructivo de la obra. Existieron fallas de tipo técnico, en los diseños, especialmente de la solera, al no prever la construcción de una estructura con hormigón armado, que resista la acción del río.
- El haber dejado un resalto de casi 1.5 m de altura en la conducción, es una falla en el diseño hidráulico del embaulamiento, que influyó notablemente en el colapso del

colector.

- No se estableció un sistema de drenajes del agua subterránea del talud sur, para evitar la supresión de poros y el efecto de la presión sobre las estructuras.
- El sitio donde falla el colector es justo en el empate del tramo de túnel y el embaulamiento realizado para construir el relleno que albergaría al intercambiador de El Trébol, esto evidencia que para el empate entre éstas dos estructuras no se tomaron las debidas seguridades en las juntas de construcción
- El desvió del río mediante el baipas, permitió acceder al sitio del embaulamiento colapsado y corroborar la hipótesis, que el fallamiento de la estructura se debió a la acción directamente relacionada a las grandes crecidas, velocidades altas del agua y arrastre de sedimentos con tamaños superiores a 1 m. (bloques de roca de gran tamaño, chatarra, madera, etc), los cuales al chocar con las estructuras producen debilitamiento, fracturamiento y erosión, principalmente en la solera.
- Quito por su ubicación geográfica, para su desarrollo y expansión ha realizado rellenos de unas 56 quebradas, rellenos que tienen varios años y no han tenido un monitoreo adecuado.
- Un aspecto importante que resaltar en este caso, es la ausencia de victimas, esto se debe a dos aspectos, uno que el percance se suscito en horas del día y la oportuna reacción de las autoridades Municipales.
- Es importante destacar también las acciones técnicas y trabajos ejecutados por la EMAAP-Q, mismos que permitieron controlar la emergencia y precautelar la seguridad ciudadana.
- El caso de El trébol, ha sido un reto para los técnicos ecuatorianos, en donde se ha demostrado que existe la capacidad suficiente para atender éste tipo de emergencias

y encontrar soluciones oportunas y seguras.

- Dentro del trabajo, por parte del Departamento de seguridad de la EMAAP-Q, se tomaron todas las precauciones, para salvaguardar la integridad de los trabajadores, lo que se evidencia en la ausencia de víctimas, a pesar de la complejidad de los trabajos.

12.2. Recomendaciones

- La principal recomendación es la de no intervenir o realizar acciones que alteren el equilibrio natural de los sistemas hídricos, mucho más cuando no se cuente con estudios completos y esté inmersa en estos la Gestión del Riesgo.
- Desde mi punto de vista, considero que en el caso de El Trébol, es mejor rehabilitar el cauce natural del río y realizar un sistema de puentes y túneles para la solución del tráfico.
- Es necesario que se realice un inventario de los rellenos realizados en quebradas y ríos de la ciudad, emprender una campaña de monitoreo, para determinar el estado de las estructuras.
- Realizar una Gestión del Riesgo, para todos y cada uno de los rellenos realizados sobre quebradas o ríos.
- Para la solución tráfico, se realice reformas viales, sistema de puentes, túneles, etc, cuyos diseños deben cumplir con las exigencias de las normas y estar acordes a las condiciones de la zona y en base a los estudios técnicos de tráfico.

13.- ANEXOS.

- **Planos**

- **Fotografías**
- **Mapas**

BIBLIOGRAFÍA

- EMAAP-Q (1995, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002) Estudios del Proyecto Acuífero de Quito; informes que recogen las diferentes conclusiones hidrológicas, hidrogeológicas, hidrogeoquímicas e isotópicas de los estudios realizados a lo largo del tiempo.
- Alvarado, A (1996) óEvolución Geológica Cuaternaria y Paleosismicidad de la Cuenca de Quito-Ecuadorô, criterios preliminares de las Formaciones en la cuenca de Quito y su evolución geológica.
- Villagómez, D (2003) óEvolución Geológica Plio-cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuadorô, fortalece los criterios para las definiciones de las Formaciones en la cuenca de Quito.
- Informe Técnico Final Proyecto RLA/8/023 EMAAP-Q, serie de datos desde el año 1962, año 2003
- DE MIGUEL FERNÁNDEZ, Constantino.- Curso de Actualización de Aguas Subterráneas.- EMAAP-Q. -2003
- DE MIGUEL FERNÁNDEZ, Constantino.- Hidrogeología Aplicada.- Editorial Félix Varela.- 1999.
- EGÜEZ, Alvarado, Yepes, Machette Michael, Costa y Dart.- óDatabase and Map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regionsô. - (2003)
- VILLAGOMEZ, Evolución Geológica Plio-cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuadorô.- Tesis de grado, EPN 2003
- EMAAP-Q (2005) óEstudio Hidrogeológico y Modelación del Acuífero Centro-Norte de Quito.
- EMAAP-Q, Fernando.- óEstudio Hidrogeológico del acuífero del Valle de los Chillosô.- EMAAP-Q.- marzo 2006.
- (CALLE, Florencio, Informe Técnico Hundimiento en el Colector de Tránsito óEl Trébolô, abril 14/ 2008).
- CAZAR, Fander, INTERCAMBIADOR EL TREBOL óInforme Resultado de las Perforaciones Geotécnicas Ejecutadas en el relleno de Suelo Sobre y próximas al Colector Dañadoô, abril 14/ 2008).
- DESCALZI, Ricardo, La solución al problema de tráfico de El Trébol, revista de la Asociación de Compañías Consultoras del Ecuador, mayo/2008
- ARIAS, César, óla emergencia vial de Quitoô, publicación revista SIGMA, Colegio de Ingenieros Civiles de pichincha, junio/ 2008)
- Ilustre Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, declaraciones del señor alcalde, diario el comercio Sábado 2 de agosto de 2008.

