UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCION DE POST GRADO EN INGENIERIA GEOTECNICA

XIV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Iquitos, 07 al 11 de Octubre 2003

DISEÑO DE MEZCLAS DE CCR UTILIZANDO CONCEPTOS DE COMPACTACION DE SUELOS

Ing. Miriam R. Escalaya A.
Dr. Jorge E. Alva Hurtado

Colegio de Ingenieros del Perú
Consejo Departamental de Loreto
Capítulo de Ingenieros Civiles

INDICE

INTRODUCCION

CONCEPTO

FILOSOFIAS DE DISEÑO

MATERIALES PARA MEZCLAS CCR

DISEÑO DE MEZCLAS MEDIANTE COMPACTACION DE SUELOS

CONCLUSIONES

INTRODUCCION

El CCR es el desarrollo más importante en el diseño y construcción de presas en los últimos años, debido a su bajo costo y rapidez de construcción.

El desarrollo del CCR proviene de especialistas en tecnología del concreto y en ingeniería geotécnica para la construcción de presas. Este método también se aplica en la construcción de pavimentos.

En el Perú se utilizó por primera vez el CCR en las estructuras de cierre del reservorio de Antacoto en 1998, Proyecto Marca III. Se ha terminado recientemente la presa Rio Rejo con el sistema hardfill en Yanacocha.

El presente trabajo es un avance de la investigación experimental que se viene realizando en la UNI sobre el CCR aplicando conceptos de compactación de suelos para el diseño de mezclas y evaluación de propiedades del material en estado fresco y endurecido.

LIMA, MARTES 6 DE FEBRERO DEL 2001 DIRECTOR GENERAL: ALEJANDRO MIRÓ QUESADA G. DIRECTOR: ALEJANDRO MIRÓ QUESADA C. AÑO 161, Nº 83.749 • PRECIO EN LIMA S/. 2,00

INDEPENDENCIA Y VERACIDAD

El Comercio

AL SERVICIO DEL PAÍS DESDE 1839

www.elcomercioperu.com.pe

RECURSO HÍDRICO

Represa Antacoto supera los 122 millones de metros cúbicos

Las lluvias en la sierra son regulares y la baja temperatura es constante durante las 24 horas del día, lo que ocasiona la formación de nieve

ANTONIO SALERNO MURO
Enviado Especial

Junín. Debido a las copiosas lluvias caídas desde noviembre del año pasado en la sierra central, Antacoto, una de las tres lagunas artificiales más grandes que forman parte del Afianzamiento del Sistema Marcapomacocha —Marca III— superó los 122 millones de metros cúbicos de agua; es decir, su m[illegible] capacidad.

La represa [illegible] en el distrito de Marcapomacocha, provincia de Yauli, departamento de Junín, [illegible] casi 4.500 metros de altura sobre el nivel mar, llegó a los 31 centímetros de rebose. Sus aguas se

GERMÁN FALCÓN/ENVIADO ESPECIAL

Diario de Lima : “El Comercio”
Fecha : 4.Abril.2000

LIMA, MARTES 6 DE FEBRERO DEL 2001 DIRECTOR GENERAL: ALEJANDRO MIRÓ QUESADA G. DIRECTOR: ALEJANDRO MIRÓ QUESADA C. AÑO 161, Nº 83.749 • PRECIO EN LIMA S/. 2,00

INDEPENDENCIA Y VERACIDAD

El Comercio

AL SERVICIO DEL PAÍS DESDE 1839

www.elcomercioperu.com.pe

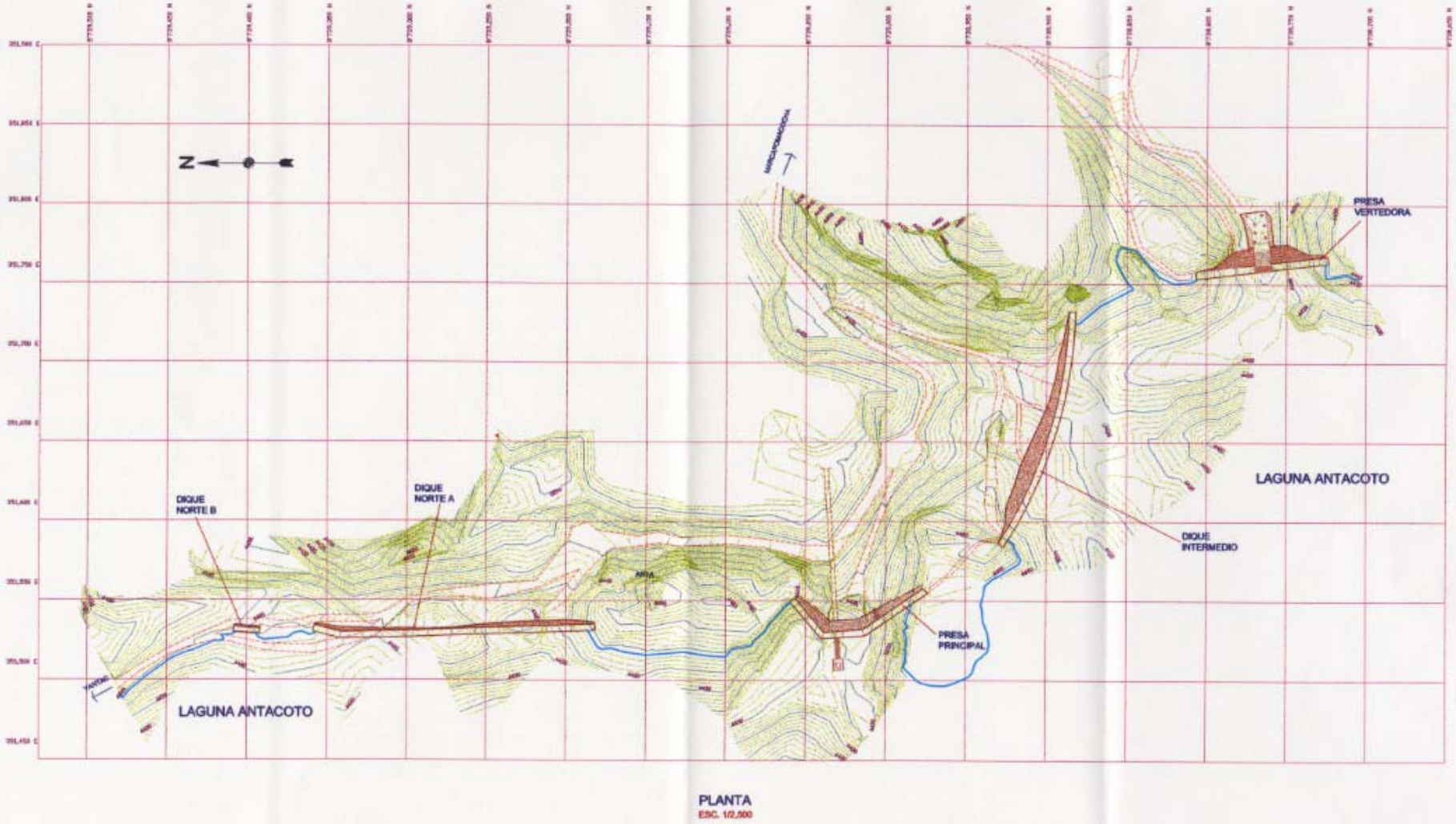
LLUVIAS NOS APLACAN LA SED

GERMÁN FALCÓN

Lima tiene agua asegurada por dos años

Los pobladores de Lima y Callao tienen asegurado el abastecimiento de agua potable por dos años. Las intensas lluvias en la sierra central han hecho que las lagunas Marcacocha, Marcapomacocha y Antacoto lleguen a su máximo nivel. **Una sobrepasó los 122 millones de metros cúbicos.** **[a6]**

PLANO DE UBICACION



PLANTA
ESC. 1/2,500

PRESA INTERMEDIA

- Laguna Antacoto

PRESA PRINCIPAL

- Vista Panorámica Frontal

PRESA VERTEDORA

- Vista Panorámica Frontal

CONCEPTO

El CCR es un concreto de consistencia seca, slump nulo, que se coloca de manera continua y se compacta con rodillo vibratorio en el campo.

La diferencia con el concreto convencional está en su consistencia. El CCR debe ser lo suficientemente seco para prevenir el hundimiento del rodillo vibratorio y lo suficientemente húmedo para permitir una adecuada distribución del mortero durante el mezclado y compactación.

Sus antecedentes están en el suelo-cemento y las bases tratadas con cemento. La presa de CCR más alta del mundo es la de Panchesshwar (310 m), en la frontera de Nepal e India.

FILOSOFIAS DE DISEÑO

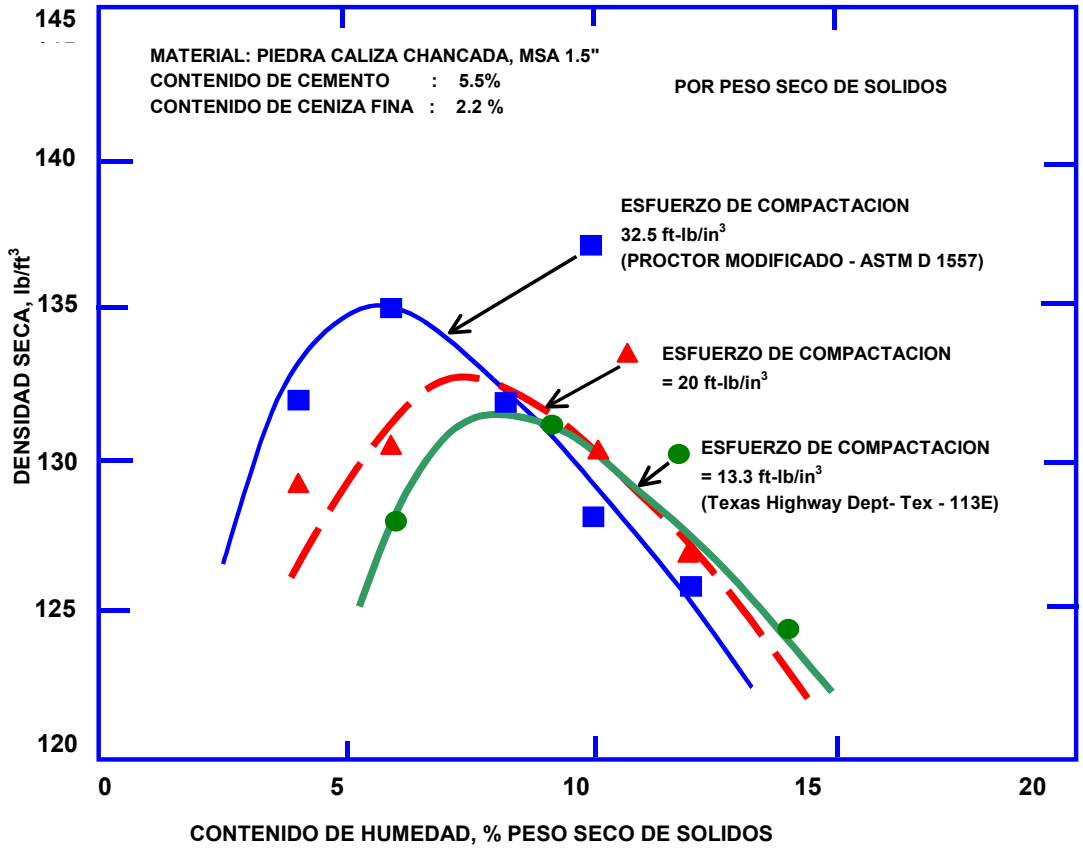
Existen dos aproximaciones en el diseño de mezclas de CCR, la de suelos y la de concreto. Su diferencia está en el tratamiento del agregado en la dosificación de mezclas, ya sea como concreto convencional o como terraplén estabilizado.

La mezcla de CCR diseñada con la filosofía de concreto tiene una consistencia más fluída que aquella diseñada con la filosofía de suelos, ya que existe más pasta.

Filosofía de Suelos

Considera al CCR como suelo procesado o agregado enriquecido con cemento, con diseño en base a la relación humedad-densidad. Para un agregado y un contenido de cemento dados, se determina el óptimo contenido de humedad para una compactación de laboratorio semejante a la compactación de campo. La pasta generalmente no rellena todos los vacíos en los agregados.

Se ilustra las curvas de laboratorio humedad-densidad para un agregado de roca caliza de Texas utilizando tres energías distintas de compactación.



CURVAS DE LABORATORIO PARA CCR HUMEDAD-DENSIDAD SUJETA A VARIAS ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN

Filosofía de Concreto

Se toma en cuenta el concepto de la relación agua-cemento establecida por Abrams en 1918. La resistencia del concreto es inversamente proporcional a la relación agua-cemento. El contenido de agua de la mezcla se determina con equipo Vebe para alcanzar el tiempo deseado en el que la pasta aparezca en la superficie de la mezcla.

Debe existir suficiente pasta en la mezcla que rellena los vacíos en el agregado para que ésta se compacte completamente, produciéndose un concreto de asentamiento nulo. Además, no debe contener exceso de pasta que sea llevada a la superficie con pocas pasadas de rodillo.

Se ha establecido la siguiente clasificación

Presas CCR con alto contenido de pasta (> 150 Kg/m^3 de cemento)

Presas CCR con medio contenido de pasta (100-150 Kg/m3 de cemento)

Presas CCR con bajo contenido de pasta (< 100 Kg/m3 de cemento)

Presas Hardfill (contenido muy bajo de cemento)

APARATO VEBE (ASTM C1170)

MATERIALES PARA MEZCLAS CCR

Cemento

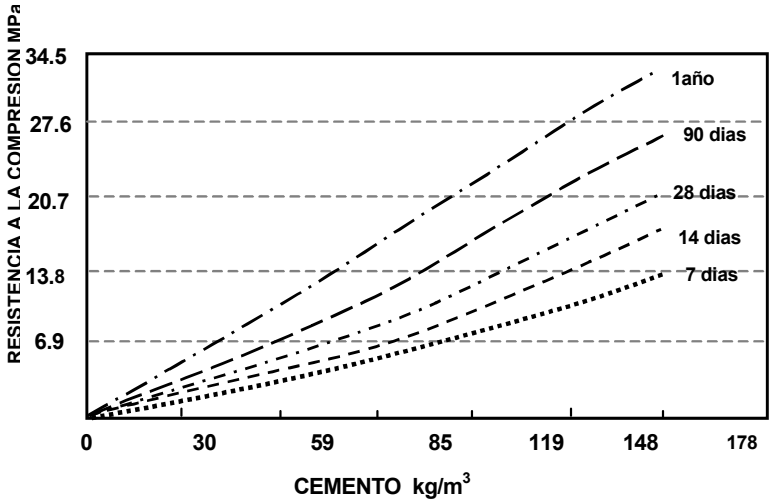
Los tipos de cemento IP, II y IS presentan propiedades beneficiosas para su aplicación en CCR, ya que desarrollan bajo calor de hidratación durante la fragua, tienen menor retracción de fragua que el tipo I, alargan la trabajabilidad del material y mejoran la puesta en obra.

Puzolana

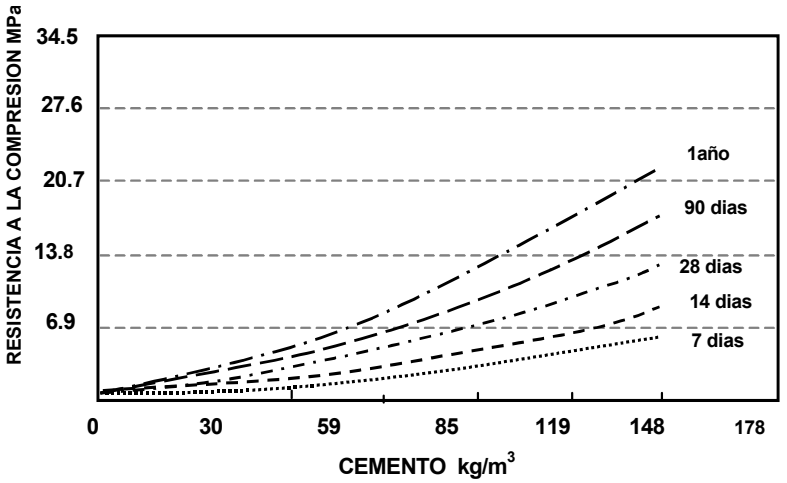
Se utiliza como reemplazo parcial del cemento para reducir la generación del calor de hidratación y reducir costos. También para aumentar los finos y mejorar la trabajabilidad para volúmenes mínimos de pasta. La puzolana actúa a lo largo de los años, por lo que puede contribuir a la resistencia al largo plazo.

Agregados

La calidad de los agregados depende de las propiedades deseadas del CCR, principalmente su resistencia. Para resistencias altas de CCR se requiere un agregado de alta calidad. Para CCR no expuesto a congelamiento-deshielo o no está sometido a esfuerzos altos, se pueden utilizar agregados de baja calidad.



(a)



(b)

(a) CURVAS DE RESISTENCIA CCR QUE PUEDEN SER DESARROLLADAS CON VARIAS PROPORCIONES DE CEMENTO PARA AGREGADOS DE BUENA CALIDAD. (b) CURVAS DE RESISTENCIA CCR DESARROLLADAS CON AGREGADOS DE MENOR CALIDAD.(ACI 207.5R-99-REF. 1)

La granulometría del agregado para el CCR con aproximación a concreto es similar a la requerida para concreto. El tamaño máximo es de 3”, aunque se han usado tamaños máximos de 2” y 6”. El porcentaje de finos se ha limitado al 3% del total de peso del agregado, si se usa alto porcentaje de puzolana.

La granulometría del agregado para el CCR con aproximación a suelos, se limita a un tamaño máximo de 2” y la cantidad de finos de 8 a 16%. Para proyectos de pequeño a mediano tamaño se propone la siguiente granolometría.

Tabla Nº 1 Granulometría recomendada de agregados

TAMAÑO DE TAMIZ (1)	PORCENTAJE QUE PASA POR PESO (2)
38 mm (1.5 “)	100
25 mm (1.0 “)	90 -100
N° 4	35 - 60
N° 40	15 - 30
N° 200	5 - 10

Agua

El agua debe estar libre de cantidades excesivas de álcalis, ácidos o material orgánico que puedan inhibir la ganancia de resistencia. Generalmente se requiere de 89 a 119 Kg/m^3 de agua para agregados de tamaño máximo mayor a 2”.

Aditivos

Los más utilizados son los reductores de agua y los retardadores de fragua, pues mejoran la trabajabilidad y las condiciones de colocación. Los incorporadores de aire no son usados debido a la dificultad en generar las burbujas de aire y su distribución cuando la mezcla tiene asentamiento nulo.

DISEÑO DE MEZCLAS MEDIANTE COMPACTACION DE SUELOS

Es similar al diseño de mezclas de suelo-cemento y bases estabilizadas con cemento. Se emplea una granulometría de agregados fija y la variación en el contenido del material cementante para un óptimo contenido humedad. Se preparan especímenes de prueba para ensayos a la compresión simple y se comparan resultados.

El óptimo contenido de humedad se determina con ensayos de compactación tipo Proctor Modificado, aunque pueden utilizarse otras energías de compactación. Se debe verificar la variación de la curva con el contenido de cemento.

Especímenes para Resistencia

Se utiliza cilindros de 6” x 12. Existen dos métodos para preparar los especímenes:

- Usando el martillo del Proctor Modificado (ASTM D 1557)

- Usando un martillo vibrador Hilti o apisonador de polo neumático (ASTM C 1435)

El mejor método es el de martillo vibrador o apisonador de polo neumático, el cual tiene un plato de 5.5” de diámetro. Para cada una de las tres capas, la muestra es vibrada hasta que el mortero de cemento es visto en el espacio anular entre el borde del molde y la cabeza del apisonador. El tiempo es de 5-15 segundos. No será mayor a 20 segundos. Se rompen cilindros a 3, 7, 14, 28, 56, 90 y 365 días.

A

B

APISONADORES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE PROBETAS DE CCR (A) APISONADOR VIBRADOR HILTI (B) APISONADOR DE POLO NEUMÁTICO

Especímenes para Durabilidad

Para CCR expuesto a ciclos de congelamiento-deshielo o humedecimiento-secado se recomienda ensayar especímenes a durabilidad de acuerdo a las normas ASTM.

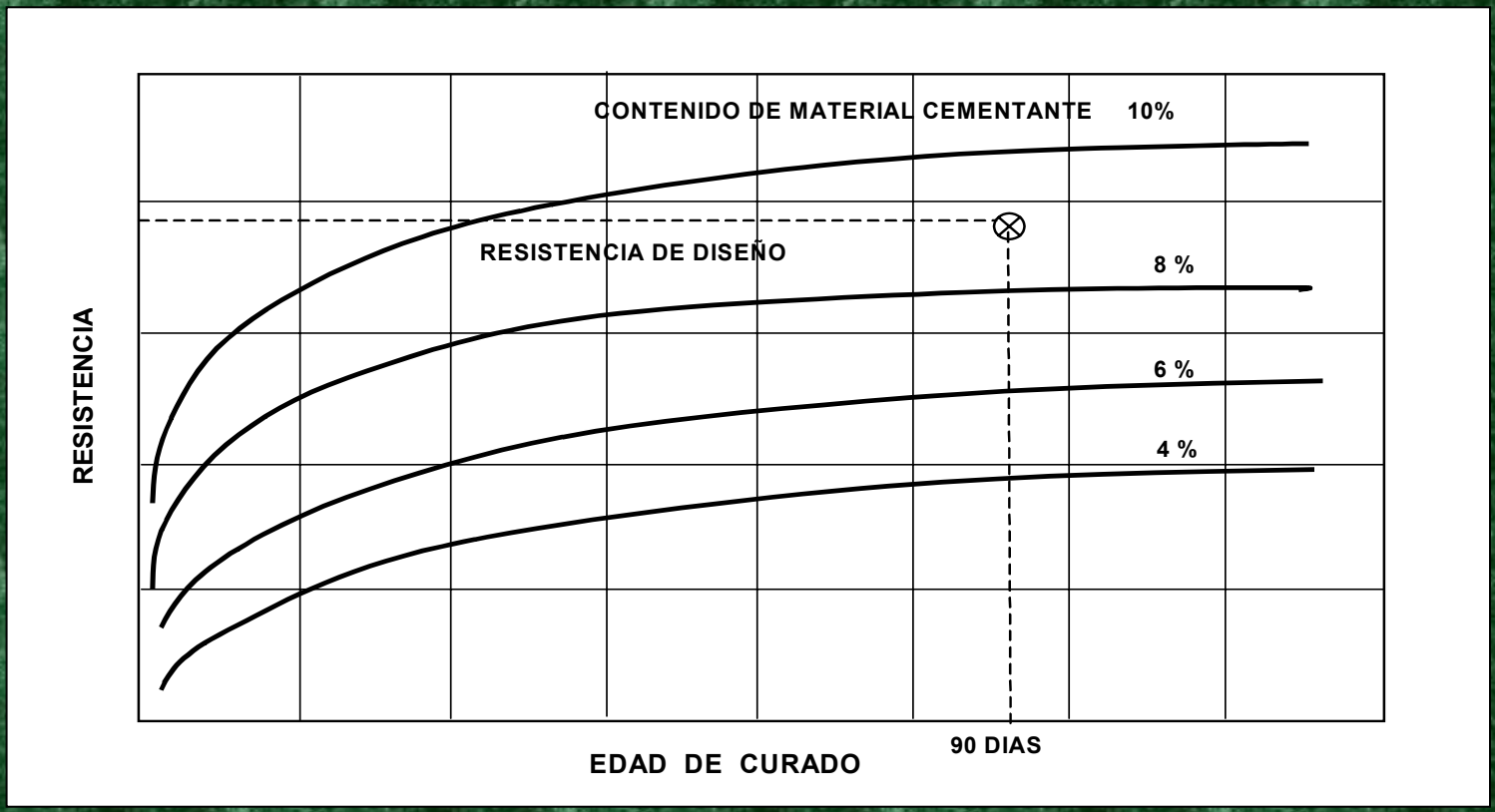
Ensayo congelamiento-deshielo (ASTM D 560)

Ensayo humedecimiento-secado (ASTM D 559)

El ensayo congelamiento-deshielo es más severo que el de humedecimiento-secado

Solución Final de Mezcla

Se presentan resultados de resistencia con edad de curado para varios contenidos de cemento. Se define la edad y la resistencia requerida de diseño.



SELECCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA BASADO EN LA RESISTENCIA

Los resultados de los ensayos de durabilidad se comparan con los límites permisibles por congelamiento-deshielo y humedecimiento-secado. Para especímenes de 7 días de curado después de 12 ciclos.

Tabla Nº 2 Límites de durabilidad permisibles

Agencia	Máximos límites permisibles (% de peso perdido)	
	Congelamiento/deshielo	Humedecimiento/secado
Portland Cement Association	14	14
U.S. Bureau of Reclamation	8	6

Usualmente el criterio de resistencia controla

CONCLUSIONES

- El diseño de mezclas de CCR utilizando conceptos de compactación de suelos es simple y está basado en ensayos convencionales de compactación tipo Proctor. Se recomienda su empleo en presas pequeñas a medianas.

- Se recomienda la aplicación de CCR en presas y pavimentos por su bajo costo y rapidez de construcción.

- El diseño propuesto deberá verificarse mediante ensayos de resistencia cortante, deformabilidad y durabilidad, tanto en el laboratorio como en el campo

PRESA RIO GRANDE YANACOCHA

HIDROENERGIA Consultores en Ingeniería S.R.L.
LABORATORIO GEOTECNICO

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION
(ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D3282 - D2487)

SOLICITANTE : CEMENTOS PACASMAYO
PROYECTO : ESTUDIO DE CONCRETO HARDFILL RIO GRANDE
UBICACION : CAJAMARCA
FECHA : SETIEMBRE DEL 2003

Informe : LG-2003
Realizado : M.M.C./W.Z.N.
Revisado : Dr. J.A.H.

CANTERA : YANACOCHA

Sondaje			M - 1
Muestra			M - 1
Profundidad (m)			-
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO — PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3 "	76.200	100.00
	2 "	50.300	98.88
	1 1/2 "	38.100	93.34
	1 "	25.400	82.37
	3/4 "	19.050	73.73
	1/2 "	12.700	63.21
	3/8 "	9.525	55.91
	1/4 "	6.350	45.57
	N° 4	4.760	39.40
	N° 6	3.360	33.06
	N° 8	2.380	28.13
	N° 10	2.000	25.95
	N° 16	1.190	21.00
	N° 20	0.840	18.58
	N° 30	0.590	16.66
	N° 40	0.426	14.66
	N° 50	0.297	13.67
	N° 60	0.250	12.42
	N° 100	0.149	10.35
	N° 200	0.074	8.20

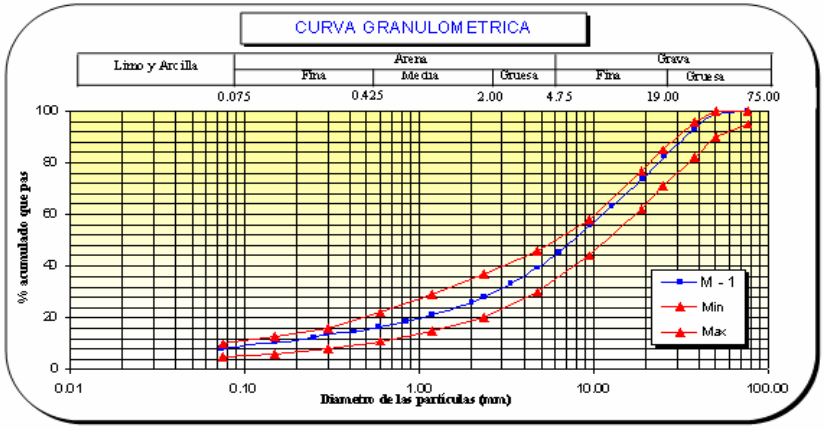
% GRAVA	60.60	Gruesa	26.27
		Fina	34.33
% ARENA	31.20	Gruesa	13.45
		Media	11.29
		Fina	6.46
% FINOS	8.20		8.20

Clasificación (S.U.C.S.)		GP-GM
Descripción :		Grava Pobremente Gradada
Clasificación (AASHTO)		A-1A
Descripción (AASHTO)		EXCELENTE A BUENO
Contenido de Humedad	(%)	3.68
Límite Líquido (LL)	(%)	0.00
Límite Plástico (LP)	(%)	0.00
Límite Contracción (LC)	(%)	0.00
Indice Plástico (IP)	(%)	0.00

D_{10} (mm)	0.14
D_{30} (mm)	2.75
D_{60} (mm)	11.30
Cu	82.64
Cc	4.90

HUSO HARDFILL

N°	Abertura(mm)	Min	Max
4 "	101.600	100	100
3 "	76.000	95	100
2 "	50.000	90	100
1 1/2 "	38.000	82	96
1 "	25.000	71	85
3/4 "	19.000	62	77
3/8"	9.500	44	58
N° 4	4.750	30	46
N° 8	2.360	20	37
N° 16	1.180	15	29
N° 30	0.600	11	22
N° 50	0.300	8	16
N° 100	0.150	6	13
N° 200	0.075	5	10



CALLE ATAHUALPA 352 - MIRAFLORES - LIMA 18 - TELF. 4465032 - FAX : 2412048
hidroenergia@terra.comp.pe

HIDROENERGIA Consultores en Ingeniería S.R.L.
LABORATORIO GEOTECNICO

ABSORCION Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADO FINO ASTM C127

INFORME : LG-2003
PROYECTO : ESTUDIO DE CONCRETO HARDFILL RIO GRANDE
SOLICITADO : CEMENTOS PACASMAYO
UBICACIÓN : MINERA YANACOCHA S.R.L. - CAJAMARCA
FECHA : 17 de Septiembre de 2003

Realizado : M.M.C./W.Z.N.
Revisado : Dr. J.A.H.

Cantera		YANACOCHA	
Progresiva	(Km)		
N° de tara		-	-
Peso de tara	(gr)	-	-
Peso de la muestra seca	(gr)	492.32	492.81
Peso frasco + agua	(gr)	663.49	663.49
Peso frasco + agua + muestra	(gr)	968.19	968.55
Peso de la muestra saturada s. Ss	(gr)	500	500
Peso específico nominal		2.62	
Peso específico aparente		**2.52**	
Peso específico aparente(S.S.S.)		2.56	
Absorción	(%)	**1.51**	

CALLE ATAHUALPA 352 - MIRAFLORES - LIMA - 18 - TELF. 4465032 - FAX : 2412048
hidroenergia@terra.com.pe

HIDROENERGIA Consultores en Ingeniería S.R.L.
LABORATORIO GEOTECNICO

ABSORCIÓN Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADO GRUESO ASTM C127

INFORME : LG-2003
PROYECTO : ESTUDIO DE CONCRETO HARDFILL RIO GRANDE
SOLICITADO : CEMENTOS PACASMAYO
UBICACIÓN : MINERA YANACOCHA S.R.L. - CAJAMARCA
FECHA : 17 de Septiembre de 2003

Realizado : M.M.C/W.Z.N.
Revisado : Dr. J.A.H.

Zona		YANACOCHA		
Peso de grava saturada s.s.(B)	(gr)	28863.18	7550.24	10256.31
Peso grava seca (A)	(gr)	28192.90	7377.20	10015.10
Peso grava sumergida(C)	(gr)	17315.56	4550.31	6130.30
Peso específico aparente		**2.44**	**2.46**	**2.43**
Peso específico aparente(S.S.S.)		2.50	2.52	2.49
Peso específico nominal		2.59	2.61	2.58
Absorción	(%)	**2.38**	**2.35**	**2.41**

CALLE ATAHUALPA 352 - MIRAFLORES - LIMA - 18 - TELF. 4465032 - FAX : 2412048
hidroenergia@terra.com.pe

HIDROENERGIA Consultores en Ingeniería S.R.L.
LABORATORIO GEOTECNICO

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO ; FINO
(ASTM C -127 ; ASTM C -128)

PROYECTO : ESTUDIO DE CONCRETO HARDFILL RIO GRANDE
SOLICITANTE : CEMENTOS PACASMAYO
UBICACIÓN : MINERA YANACOCHA S.R.L. - CAJAMARCA
FECHA : Septiembre 23, 2003

Informe	LG - 2003 - 020
Realizado	M.M.C/W.Z.N
Revisado	Dr. J . E . A.

A.- AGREGADO GRUESO

N	PESO ESPECIFICO APARENTE	ABSORCION (%)
M - 1	244	2.38
M - 2	245	2.35
M - 3	243	2.41

B.- AGREGADO FINO

N	PESO ESPECIFICO APARENTE	ABSORCION (%)
M - 1	251	1.58
M - 2	252	1.51
M - 3	250	1.76
M - 4	251	1.63

C.- PROMEDIOS

AGREGADO	PESO ESPECIFICO APARENTE	ABSORCION (%)
FINO	251	1.62
GRUESO	244	2.38

D.- AGREGADO GLOBAL

AGREGADO	PESO ESPECIFICO APARENTE	ABSORCION (%)
M - 1	247	2.07

Calle Alta Nro. 351 - Miraflores - Lima - 18 - Telefax 446301 Anx : 14-15-16
hidroenergia@terra.com.pe

HIDROENERGIA Consultores en Ingeniería S.R.L.
LABORATORIO GEOTECNICO

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO
(ASTM D 1557)

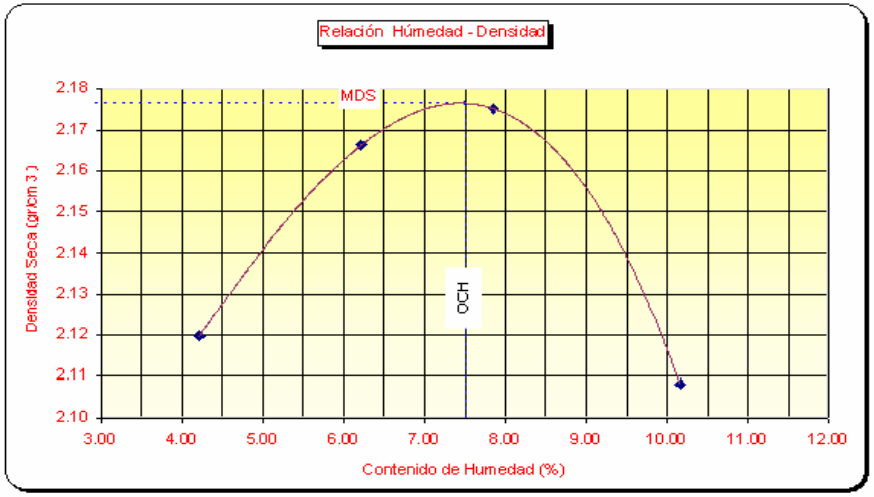
PROYECTO : **ESTUDIO DE CONCRETO HARDFILL RIO GRANDE**
SOLICITANTE : **CEMENTOS PACASMAYO**
UBICACIÓN : **MINERA YANACOCHA S.R.L. - CAJAMARCA**
FECHA : **Septiembre 17, 2003**

CEMENTO : **Pacasmayo Tipo MS**
CANTIDAD : **80Kg/m³**

Clasificación (S.U.C.S.)	**GP - GM**
Clasificación (AASHTO)	**A - 1A**
Descripción (AASHTO)	**EXCBUENO**
Descripción : Grava Pobremente Gradada	

Informe	LG-2003-020
Realizado	T.G.T/W.Z.N
Revisado	Dr. J . E . A.

Próctor Modificado ASTM D 1557						
Molde		I	II	III	IV	
D. Seca		2.12	2.17	2.18	2.11	
Humedad		4.21	6.22	7.85	10.16	
MDS (g/cm3) =		**2.176**			**OCH (%) =**	**7.51**



CALLE ATAHUALPA 352 - MIRAFLORES - LIMA - 18 - TELFS. 4465032 FAX : 2412048
hidroenergia@terra.com.pe

HIDROENERGIA Consultores en Ingeniería S.R.L.
LABORATORIO GEOTECNICO

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO
(ASTM D 1557)

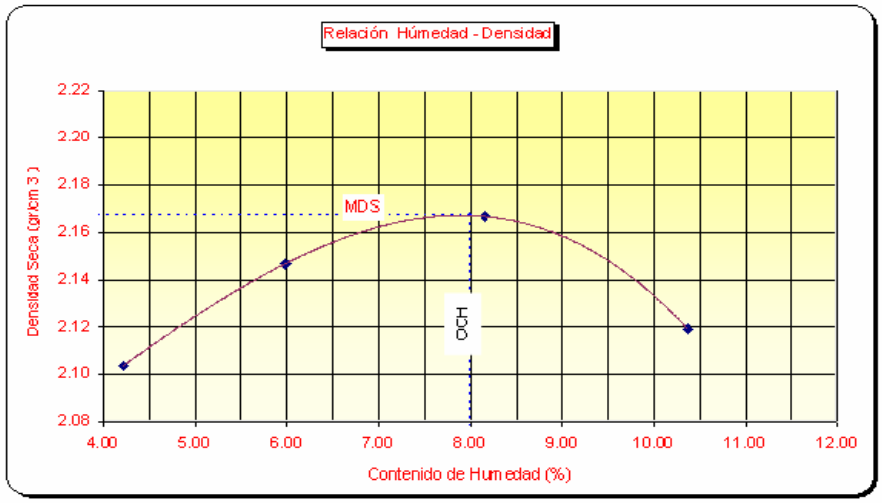
PROYECTO : **ESTUDIO DE CONCRETO HARDFILL RIO GRANDE**
SOLICITANTE : **CEMENTOS PACASMAYO**
UBICACIÓN : **MINERA YANACOCHA S.R.L. - CAJAMARCA**
FECHA : **Septiembre 17, 2003**

CEMENTO : **Pacasmayo Tipo MS**
CANTIDAD : **100Kg/m³**

Clasificación (S.U.C.S.)	**GP - GM**
Clasificación (AASHTO)	**A - 1A**
Descripción (AASHTO)	**EXC-BUENO**
Descripción :	
Grava Pobremente Gradada	

Informe	LG-2003-020
Realizado	T.G.T./W.Z.N
Revisado	Dr. J . E . A.

Próctor Modificado ASTM D 1557						
Molde		I	II	III	IV	
D. Seca		2.10	2.15	2.17	2.12	
Humedad		4.22	5.98	8.16	10.37	
MDS (g/cm3) =		**2.167**			**OCH (%) =**	**8.00**



CALLE ATAHUALPA 352 - MIRAFLORES - LIMA - 18 - TELFS. 4465032 FAX : 2412048
hidroenergia@terra.com.pe

HIDROENERGIA Consultores en Ingeniería S.R.L.
LABORATORIO GEOTECNICO

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO
(ASTM D 1557)

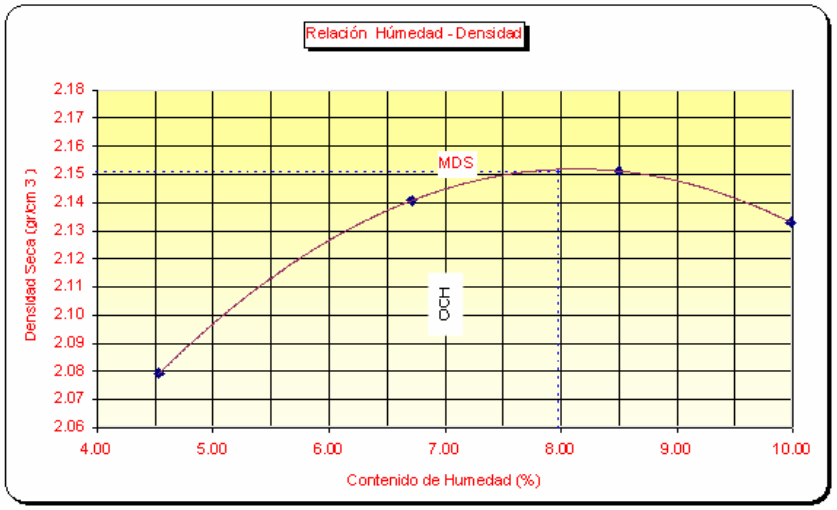
PROYECTO : **ESTUDIO DE CONCRETO HARDFILL RIO GRANDE**
SOLICITANTE : **CEMENTOS PACASMAYO**
UBICACIÓN : **MINERA YANACOCHA S.R.L. - CAJAMARCA**
FECHA : **Septiembre 17, 2003**

CEMENTO : **Pacasmayo Tipo MS**
CANTIDAD : **120Kg/m^3**

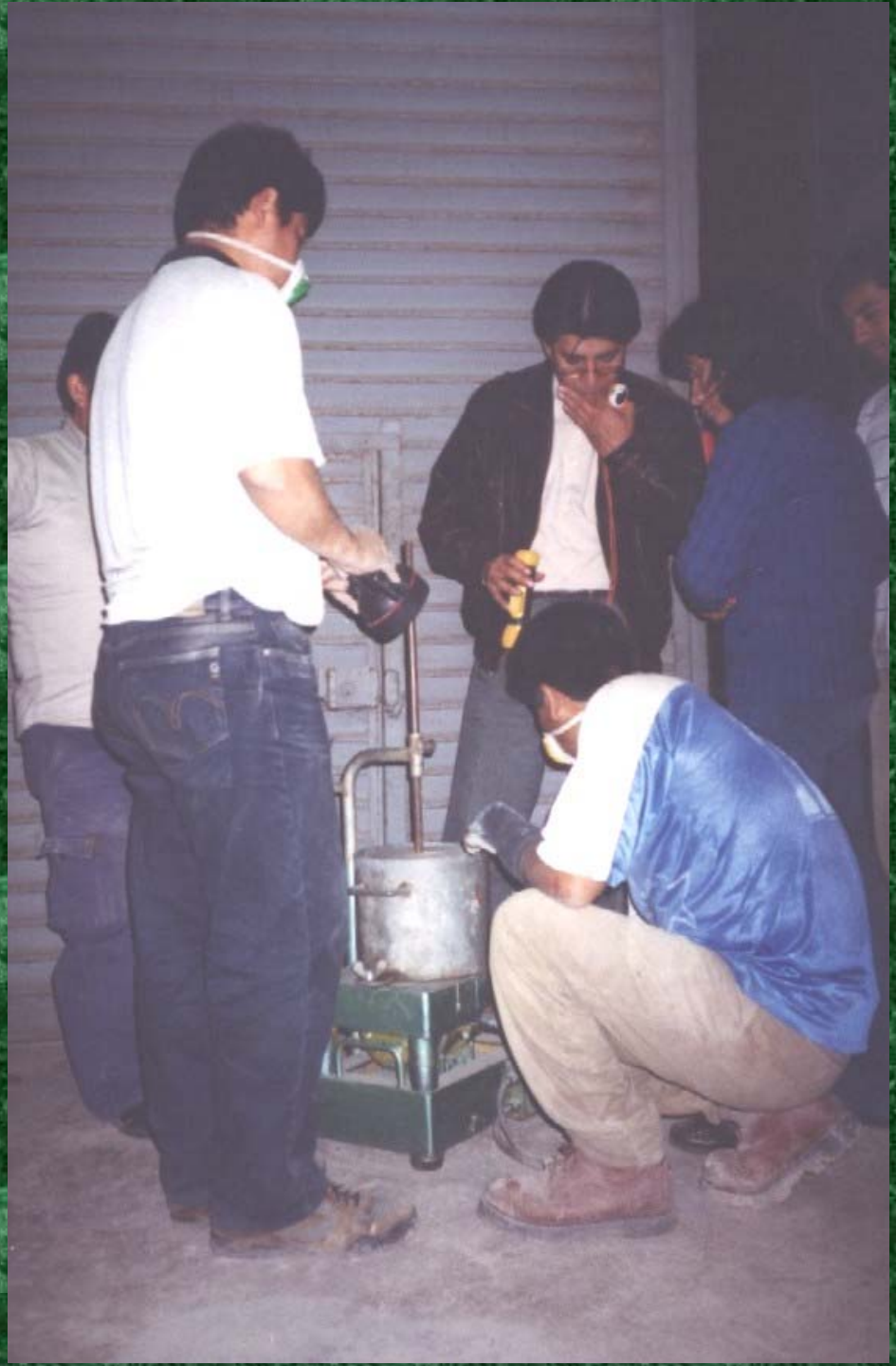
Clasificación (S.U.C.S.)	**GP - GM**
Clasificación (AASHTO)	**A - 1A**
Descripción (AASHTO)	**EXCBUENO**
Descripción : Grava Pobremente Gradada	

Informe	LG-2003-020
Realizado	T.G.T/W.Z.N
Revisado	Dr. J . E . A.

Próctor Modificado ASTM D 1557						
Molde		I	II	III	IV	
D. Seca		2.08	2.14	2.15	2.13	
Humedad		4.53	6.71	8.50	9.98	
MDS (g/cm3) =		**2.151**			**OCH (%) =**	**7.98**



CALLE ATAHUALPA 352 - MIRAFLORES - LIMA - 18 - TELFS. 4465032 FAX : 2412048
hidroenergia@terra.com.pe



5
4

19
16
17
12

32
36
34

V3-MS-100
20/09
V3-MS-100
20/09
V3-MS-100
20/09
V3-MS-100
20/09
V3-MS-100
20/09
V3-MS-100
20/09
V3-MS-100
20/09
V3-MS-100
20/09
V3-MS-100
20/09

22.8
99
ON
OFF
MAX
MIN
CLEAR
EXTECH
45320
Hygro-Thermometer

T11-AV
3
13/09
2
T11-AV
13/09
1
13/09

+15750
ELE
DINATESTE
ELE