

1. INFORME TÉCNICO

1.1. Principio y descripción

El **Sistema de impermeabilización y estabilización química de suelos CONSOLID** está formado por dos productos: un polvo granulado de nombre comercial SOLIDRY, y un líquido semi-viscoso de nombre comercial CONSOLID 444.

El sistema impermeabiliza los suelos tratados, así como aumenta la capacidad portante de los mismos.

La aplicación del CONSOLID 444 permite una aglomeración de las partículas finas, y de este modo una reducción de la superficie activa del suelo; se destruye la película de agua adherida en la medida de lo posible, activando así el poder de unión propio del suelo. Un tratamiento posterior con SOLIDRY permite una estabilización precisa de acuerdo a los requerimientos del lugar de construcción.

1.2 Materiales y componentes

1.2.1 SOLIDRY CONCENTRADO

Polvo granulado formado por la mezcla de catalizadores e intercambiadores iónicos.

Tabla No. 1. Identificación de la sustancia.

Nombre comercial de producto	SOLIDRY CONC
Nombre químico	Mezcla de tensoactivos catiónicos
Código	E1DR01 9 73.0082 /F
Productor	KAO CORPORATION S.A. Puig dels Tudons, 10-08210 BARRERA DEL VALLES (Barcelona, España)

Tabla No. 2. Caracterización química del SOLIDRY CONCENTRADO.

Compuesto	%
Alquilamina grasa	25- 100
Ester di-alquílico de tri-etanol amonio metil sulfato	25- 100
2 Propanol	5- 10

Tabla No. 3. Características técnicas del SOLIDRY CONCENTRADO.

Características técnicas	UM	Valor nominal
Aspecto	-	sólido
Color	-	amarillento
Olor	-	similar a las aminas
Valor pH (a 50 g/l H ₂ O) (50 °C)	-	9-10
Punto de fusión	°C	50-52
Punto de inflamación en copa cerrada	°C	>170
Densidad (75 °C)	g/cm ³	0,858
Viscosidad dinámica (75°C)	mPa.s	<100
Solubilidad en agua (20°C)	-	Insoluble
Solubilidad en Isopropanol (55 °C)	g/L	50

1.2.2 CONSOLID 444 CONCENTRADO

Líquido semi viscoso, formado por la mezcla de monómeros y polímeros catalizadores, aceleradores de la penetración.

Tabla No. 4. Identificación de la sustancia.

Nombre comercial del producto	CONSOLID 444 CONCENTRADO
Código	9706500
Productor	BUSSETTI & Co. GesmbH Rotszergasse 57 1170, Viena

Tabla No. 5. Caracterización química del CONSOLID 444 CONCENTRADO.

Compuesto	%
Compuesto de amonio cuaternario	25-50
Amina grasa	10-25
Ácido fórmico	2,5-10
Otras aminas grasas	2,5-10
Xileno alcalino	^2,5

del

Tabla No. 6. Características técnicas CONSOLID 444 CONCENTRADO.

Características	UM	Valor Nominal
Aspecto	-	líquido
Color	-	amarillo
Olor	-	característico
Punto de inflamación	°C	41
Presión de vapor a 20 °C	hPa	23
Densidad	g/cm ³	0,98-1,00
Solubilidad en agua	-	completa
ValorpH(100g/l)a20°C	-	4,5-5

1.3 Fabricación

Los productos que componen el Sistema se fabrican a partir de productos concentrados manufacturados y embarcados desde BUSSETTI & Co. GesmbH, Austria (CONSOLID) y desde KAO CORPORATION S.A., España (SOLIDRY) a sus distribuidores autorizados en el mundo, para a partir de ellos obtener los productos finales del sistema.

BUSSETTI & Co. GesmbH presenta certificado ISO 9001: 2000, para el diseño y producción de auxiliares químicos industriales con número de registro 01530138 otorgado por el cuerpo de certificación TUV.

KAO CORPORATION SA, presenta certificado ISO 9001: 2000, para el diseño y producción de agentes tensoactivos otorgado por AENOR con numero de registro ER-0228/1995, renovado en el 2006.

1.4 Requisitos para la puesta en obra

1.4.1 Estudios previos de laboratorio

Para estudiar los suelos a tratar con el sistema CONSOLID, se debe de ejecutar los siguientes ensayos previos de caracterización y compactación del suelo:

Ensayo de humedad según NC 67:2000.

Ensayo de límites de consistencia según NC 58:2000.

Ensayo de peso específico según NC 19:1999.

Ensayo de granulometría según NC 20:1999.

Ensayo de hidrómetro según NC 20:1999.

Empleando cualquiera de los sistemas de clasificación de suelos (AASHO, SUCS) se identifica el tipo de suelo con el cual se va a acometer la estabilización con los aditivos del Sistema CONSOLID.

Según la ASTM D 1557:2002 se realizan los ensayos de compactación del suelo para las energías estándar y modificado, determinándose la densidad máxima y la humedad óptima de compactación.

Una vez establecidos los parámetros básicos del suelo a tratar se procede a determinar las características geomecánicas del suelo estabilizado con el sistema CONSOLID a partir de los siguientes ensayos.

Ensayo de ascensión capilar para establecer la impermeabilidad del suelo.

Ensayo de compresión por carga simple axial según la norma ASTM D 1633:2007

c) Ensayo de CBR para establecer las características resistentes del suelo según la NC 54-150:1983.

La adición de los aditivos se realiza de la siguiente forma:

Se añade la cantidad del aditivo líquido CONSOLID 444 ya desconcentrado (1:4) en dependencia de la cantidad de suelo que se va a preparar en proporción de 1:50 (por ejemplo para una muestra de suelo de 5000 g se le añaden 100 mL de aditivo líquido desconcentrado), que se adicionan a la cantidad de agua a añadir para *alcanzar* la humedad óptima de moldeo.

La adición del aditivo sólido SOLIDRY ya desconcentrado, se realiza en proporción del 2% en peso de la masa del suelo a tratar.

1.4.2 Preparación de los productos

1.4.2.1 Preparación del CONSOLID 444

El aditivo líquido a emplear en la estabilización se prepara con una parte de CONSOLID CONCENTRADO en 4 partes de agua dulce.

El producto puede ser preparado directamente en el lugar de la obra, por ejemplo usando un camión pipa de agua.

1.4.2.2 Preparación del SOLIDRY

El SOLIDRY CONCENTRADO debe ser mezclado con un filler de cemento y cal hidratada para facilitar su distribución uniforme en el suelo. La preparación se realiza de acuerdo a las siguientes proporciones:

- 3,5% SOLIDRY CONCENTRADO 32% de cal hidratada 64,5 % de cemento Portland

Para la preparación del producto se requiere: Un sistema mezclador de cualquier tipo. Un molino de bolas o a fricción (la temperatura no debe exceder los 60 °C). Un sistema para envasar (contenedores bien cerrados o bolsas de papel).

El proceso de molienda se realiza para obtener un producto de finura correspondiente al 100 % pasante el tamiz No. 140 (0,1 mm).

1.4.3 Equipamiento para la puesta en obra

Para la puesta en obra del sistema se requieren de los equipos clásicos de una empresa de movimiento de tierra o constructora de carreteras, tales como:

Arado de varios dientes (riper, scraper)

Motoniveladora

Camión para repartir el producto

Camión pipa de agua

Motovolqueta

Arado de disco, rotovator.

Pueden usarse equipos pulvimixer o estabilizadoras.

Compactador pata de cabra. Cilindro vibrocompactador.

1.4.4 Requisitos para la puesta en obra del sistema CONSOLID

La aplicación en cualquier obra de estabilización o impermeabilización de suelos debe cumplir los siguientes pasos:

1.4.4.1 Preparación del suelo

Las operaciones que incluye la preparación del suelo son:

Escarificado y disgregación, a una profundidad de 25 cm, con la cual se consigue eliminar los elementos gruesos, a la vez que se disgregan o ahuecan los terrenos cohesivos.

La nivelación de acuerdo con la rasante de la explanada, dejándolo preparado para el extendido y mezclado con los aditivos.

1.4.4.2 Riego del aditivo líquido CONSOLID 444

Este producto es usado comúnmente en cantidades de (0,4 a 0,8) litros por metro cúbico de suelo, siendo la estándar de $0,8 \text{ L/m}^3$.

Es bastante entendible que estas pequeñas cantidades no pueden ser propiamente distribuidas en un metro cúbico de suelo, por lo que el CONSOLID requerido será diluido en la cantidad de agua necesaria a distribuir en el suelo para alcanzar el contenido de humedad óptima de compactación.

1.4.4.3 Distribución del aditivo SOLIDRY

Generalmente la dosis a aplicar se encuentra entre $(12 \text{ a } 20) \text{ kg/m}^3$, siendo la estándar de 16 kg/m^3 .

Para obras muy pequeñas, de reducida superficie a estabilizar, o en zonas irregulares no accesibles a los equipos mecánicos, la distribución del SOLIDRY se puede realizar de forma manual.

Para ello se colocan los sacos del aditivo sobre el suelo formando una cuadrícula de lados aproximadamente iguales, de acuerdo con la dosificación aprobada y, una vez abiertos, se distribuye rápidamente y lo más uniforme posible mediante rastrillos manuales.

En el resto de los casos es conveniente utilizar equipos mecánicos, para extender el aditivo en polvo. Es muy importante que haya una buena sincronización entre estos equipos y los de mezclado, con el fin de evitar pérdidas del aditivo provocadas por el viento.

1.4.4.4 Mezclado

Es muy importante un adecuado proceso de mezclado que asegure una buena homogeneidad del producto en la profundidad requerida.

1.4.4.5 Compactación

La necesidad de obtener una compacidad elevada se refleja no sólo en la obtención de una buena resistencia en esta capa, sino en lograr una buena superficie de apoyo que colabore a aligerar de tensiones a la capa situada inmediatamente superior.

La compactación del suelo deberá realizarse con contenidos de humedad óptimo del próctor o a un nivel ligeramente superior.

Si por cualquier razón la compactación no puede tener lugar inmediatamente después de la aplicación de los productos y el suelo se seca demasiado, la humedad perdida debe ser recuperada usando un regador para luego proceder a la compactación.

Por otra parte, si la aplicación o compactación debieran ser interrumpidas por alguna razón, por ejemplo razones climáticas, pueden ser retomadas en cualquier momento en el mismo punto donde fueron interrumpidas cuidando de que se cumplan las condiciones anteriores de humedad.

1.4.5 Ejemplo de dosificación

Para una carretera de 8,00 m de ancho, longitud de 1000,00 m y un espesor a estabilizar de 0,25 m.

- Clasificación del suelo (Método AASHTO) = Suelo A-4(5).

Peso específico máximo suelo = 2040 kg/m^3 . Humedad óptima = 11 %.

Humedad natural del suelo extraído en el campo = 8,2%.

Humedad requerida en campo = $11 \% - 8,2 \% = 2,8\%$.

Volumen del suelo = $8 \times 1000 \times 0,25 = 2000 \text{ m}^3$.

Cantidad de CONSOLID 444 (tratamiento 0,25m)

= $0,8 \text{ L/m}^3 \times 2000 \text{ m}^3 = 1600 \text{ litros}$.

Cantidad de SOLIDRY (tratamiento 0,25m) = $16 \text{ kg/m}^3 \times 2000 \text{ m}^3 = 32000 \text{ kg}$.

1.4.6 Comportamiento del suelo tratado con el sistema CONSOLID

Los aditivos del sistema CONSOLID tienen un importante efecto en la sensibilidad al agua de los suelos y la disminuyen al mínimo.

Una vez compactado y secado lentamente el camino, puede alcanzarse un contenido de humedad permanente que está alrededor de la humedad óptima del próctor. Por lo tanto esto redundará en mayor compactación de la capa tratada que trae consigo una mayor resistencia que se mantiene durante períodos húmedos.

La densidad seca del suelo aumenta de un 5 % a un 10 % del valor del suelo no tratado, manteniéndose este valor en períodos de humedad.

Con respecto a los límites de Atterberg, después del tratamiento con el sistema CONSOLID sólo se alcanzan por una mezcla forzada con agua, por lo que los cambios significativos que se obtienen en ellos pueden ser importantes para alguna aplicación especial.

Los resultados de ensayos de ascensión capilar para un suelo no tratado provoca el humedecimiento total y el colapso produciéndose así su disgregación, mientras que en el suelo tratado con el sistema CONSOLID no se produce afectación por el agua por tiempo indefinido.

El tratamiento con el sistema CONSOLID produce un aumento significativo del valor de soporte. Expresado en términos porcentuales del valor del CBR se observa que este aumenta entre un (20 a 50) % para un suelo en condiciones de humedad óptima, pero sobre todo, debe destacarse que el valor de soporte aumenta al menos tres veces en situaciones de alta humedad respecto al del suelo no tratado.

1.5 Referencias de utilización

La presencia en Cuba del **Sistema de impermeabilización y estabilización química de suelos CONSOLID**, es totalmente novedosa por lo que no tiene antecedentes de utilización.

En marzo 2007, se realizó por parte del grupo técnico de la DIP Almendares, perteneciente al Instituto de Recursos Hidráulicos, un tramo de prueba de 46 m x 1,30 m x 0,20 m en relleno de zanjas para drenajes de alcantarillado, situado en el Reparto Parcelación Moderna, Municipio

Arroyo Naranjo, en la provincia Ciudad de la Habana.

2. EVALUACIÓN DE LA IDONEIDAD TÉCNICA

2.1 Consideraciones para la evaluación

El **Sistema de impermeabilización y estabilización química de suelos CONSOLID**,

ha sido objeto de evaluación por parte del Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción.

El CTDMC sólo realizó ensayos de identificación de los productos concentrados que se importan para la aplicación de este sistema, atendiendo a que el solicitante ha presentado los informes relacionados con evaluaciones efectuadas por diferentes instituciones reconocidas en el país, sobre el efecto que produce el tratamiento con el Sistema CONSOLID en diferentes tipos de suelos característicos de Cuba. Estos reportes fueron tomados como válidos.

Para realizar la evaluación de los productos que componen el sistema, se recibieron las siguientes muestras:

400 mL de aditivo CONSOLID 444
CONCENTRADO.

1 kg de aditivo SOLIDRY CONCENTRADO

Estas muestras fueron obtenidas de la fábrica matriz CONSOLID AG desde Suiza para el proceso de obtención del DITEC. Los recipientes se encontraban protegidos y debidamente etiquetados.

2.2 Resultados de la evaluación

Los resultados de los ensayos que se detallan a continuación, realizados en el CTDMC, se expresan como valores promedio de muestras ejecutadas paralelamente por duplicado.

2.2.1 Caracterización del aditivo líquido CONSOLID 444 CONCENTRADO

Tabla No. 7. Características del CONSOLID 444 CONCENTRADO

Ensayo	UM	Valor	Referencia
Estado físico	-	líquido	líquido
Color	-	amarillo	amarillo
Valor pH NC 271 -2:2003	-	4,93	4,5-5
Densidad NC 271-4:2003	g/cm ³	0,93	0,98-1,0
Viscosidad Copa Ford, NC ISO 2431:04	seg	55	-
Sólidos totales NC 271 -1:2003	%	40,41	-
Sustancias Insolubles NC 271-6:2003	%	1,4	-

2.2.2 Caracterización del aditivo SOLIDRY CONCENTRADO sólido

Las probetas 5 y 3 se observaron en perfecto estado.

Tabla No. 8. Características del SOLIDRY CONCENTRADO.

Ensayo	UM	Valor	Referencia
Estado físico	-	sólido	sólido
Color	-	blanco	amarillento
Valor pH NC 271 -2:2003	-	9,09	9-10
Peso específico NC 271 -4:2003	g/cm ³	0,95	-
Punto de fusión	°C	50	50-52
Solubilidad en agua (20°C)	-	Insoluble	Insoluble

Tabla No. 9. Determinación de los tamaños de partículas del aditivo SOLIDRY CONCENTRADO.

Dimensiones (mm)	Porcentaje de partículas por tamaño
4,76	2,2
2,38	38,0
1,19	34,5
0,59	12,7
0,297	6,6
0,149	3,2
0,074	1,7
< 0,074	1,1

2.2.3 Ensayos en suelos

Los ensayos en suelos que se reportan, han sido realizados en los laboratorios de suelos de la ENIA Villa Clara, ENIA Santiago de Cuba y el Laboratorio de Mecánica de Suelos del ISPJAE.

2.2.3.1 Ensayos preliminares

Las pruebas iniciales estuvieron destinadas a comprobar los aditivos CONSOLID individualmente y en combinación como establece el sistema.

Para ello se elaboraron 5 probetas:

Probeta 1 con adición de SOLIDRY.

Probeta 2 con adición de CONSOLID 444.

Probeta 3 suelo sin tratar.

(En estas tres probetas se empleó una arcilla negra plástica del reparto La Torre)

Probeta 4 con adición de SOLIDRY empleando una arcilla negra altamente plástica de la formación Toledo.

Probeta 5 con adición de CONSOLID 444 + SOLIDRY empleando una arcilla roja parda impermeable de la cortina de la presa Mampostón.

El estudio dio como resultado que las probetas 1, 2 y 4 donde se emplearon los aditivos por separado presentaron retracciones muy pronunciadas en toda su esbeltez.

Como conclusión se estableció que los aditivos tienen que ser empleados en combinación pues de manera independiente no accionan como estabilizador del suelo.

2.2.3.2 Evaluación de la impermeabilidad y capacidad portante de los suelos tratados

Los ensayos desarrollados a continuación son para evaluar el efecto de los aditivos del sistema CONSOLID sobre la densidad, el CBR y la permeabilidad en los suelos tratados en relación al suelo natural sobre diferentes tipos de suelos característicos de Cuba.

Tabla No. 10. Resultados de ensayos de suelo de muestras de la formación Toledo*.

	UM	No tratado	Tratado con Sistema CONSOLID
Tipo de suelo	Arcilla limosa de alta compresibilidad		
Clasificación	HRB	A-7-5(20) (SUCS-CH)	
Densidad	kg/m ³	1,51	-
Humedad óptima	%	20	-
CBR inmersión	%	4	30
Estabilidad a ciclos humedad -secado	cm	-	Pasa

Realizados por el Grupo de Geotecnia y Cimientos del CECAT, ISPJAE.

Tabla No. 11. Resultados de ensayos realizados a muestras de la autopista nacional, zona Villa Clara*.

	UM	No tratado	Tratado con Sistema CONSOLID
Tipo de suelo	Gravo arcilloso limoso, color beige		
Clasificación	HRB	A-2-6 (0)	
Densidad	kg/m ³	1846	2044
Humedad óptima	%	11,6	11,3
CBR inmersión	%	20	150,8

* Realizados por ENIA Villa Clara

Tabla No. 12. Resultados de ensayos realizados a muestras de la cantera Los Pollos*.

	UM	No tratado	Tratado con Sistema CONSOLID
Tipo de suelo	Grava arena limosa, color gris		
Clasificación	HRB	A-1a(0)	
Densidad	kg/m ³	1853	1853
Humedad óptima	%	11,6	12,1
CBR inmersión	%	83	148

Realizados por ENIA Villa Clara

Tabla No. 13. Resultados de ensayos a muestras del Huevo de Aguadores del Aeropuerto Santiago de Cuba.

	UM	No tratado*	Tratado con Sistema CONSOLID**
Tipo de suelo	Grava limosa con arena		
Clasificación	HRB	A-Ib(SUCS-GM)	
Densidad	kg/m ³	1954	2080
Humedad óptima	%	12	11
CBR	%	20	-
Ascensión capilar (pérdida en altura), 24h	cm	8	0

* Realizados por ENIA Santiago de Cuba ** Realizados por la DIP Almendares en Laboratorio de Mecánica de Suelos del ISPJAE.

Tabla No. 14. Resultados de ensayos realizados a muestras de la cantera Pitrre en San Francisco de Paula*.

	UM	No tratado	Tratado con Sistema CONSOLID
Tipo de suelo	arena limo arcillosa		
Clasificación	HRB	A-6 (14)	
Densidad	kg/m ³	1830	1900
Humedad óptima	%	15	-
CBR	%	-	-
Absorción, 72h	%	100	0
Ascensión capilar (pérdida en altura), 72h	cm	12	0

* Realizados por ENIA, Ciudad de La Habana.

* Realizados por ENIA, Ciudad de La Habana.

2.3 Conclusiones de la evaluación

De la evaluación pueden extraerse las siguientes conclusiones:

Tabla No. 15. Resultados de ensayos realizados a muestras de suelo producto de excavaciones de zanjas del Reparto Parcelación*

	UM	No tratado	Tratado con Sistema CONSOLID
Tipo de suelo	Grava areno limo arcillosa		
Clasificación	HRB	A-6 (13)	
Densidad	kg/m ³	1850	1890
Humedad óptima	%	12,5	-
CBR	%	-	-
Absorción, 72h	%	100	0
Ascensión capilar (pérdida en altura), 72h	cm	12	0

diferentes de suelos característicos de Cuba. De ellos 4 han sido suelos inadecuados o marginales para su empleo en obras de carreteras.

El Sistema permite que el suelo desarrolle una gran capacidad de resistencia al agua, impermeabilizando los suelos tratados, e incrementa la capacidad portante del mismo, por lo cual puede emplearse indistintamente para cualquiera de estas dos prestaciones, o ambas.

Su utilización puede resultar ventajosa al poder emplearse los suelos disponibles en el lugar. La estabilización química aumenta el costo de ejecución, pero debe producir un ahorro sustancial en transportación y extracción de materiales de canteras seleccionadas.

Esta evaluación no garantiza la calidad de la ejecución por parte de empresas no especializadas o sin la asesoría técnica del suministrador.

En la evaluación al **Sistema de impermeabilización y estabilización química de suelos CONSOLID** se ha verificado que el mismo cumple con las funciones establecidas para este tipo de solución, por lo que se concluye que su evaluación en las condiciones de Cuba es satisfactoria.

Ponente:
MSc. Ing. Rosa Herrera de la Rosa
Investigador Auxiliar
CTDMC

El Sistema de impermeabilización y estabilización química de suelos CONSOLID, ha sido probado en 6 tipos

3. OBSERVACIONES DE LA COMISIÓN DE EXPERTOS (*)

Las principales observaciones formuladas por la Comisión de Expertos fueron las siguientes:

Dado el agotamiento progresivo de las fuentes de suministro de material de préstamo, la técnica de estabilización de suelos debe ser considerada como alternativa en los proyectos de obras de movimiento de tierra.

Para obtener resultados satisfactorios es necesario que la puesta en obra sea realizada por brigadas especializadas.

La realización de los trabajos de preparación, así como los de colocación del Sistema deben ser bien controlados para que se cumplan todas las indicaciones de este documento.

(*) La Comisión de Expertos estuvo integrada por representantes de los siguientes Organismos y Entidades estatales:

- Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas
- UTIEC La Habana
- Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción
- ESIHO

Oficina Nacional de Normalización
Dirección de Normalización del Ministerio de
la Construcción
Diseño Ciudad Habana
UTIEC Ciudad Habana
D'Obras

- ENIA Villa Clara

