

## **SIMPOSIO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIONES**

### ***Aplicación Industrial del Mortero Expansivo en el Canal Trasvase Alacranes-Pavón desarrollado por el CIDEM-UCLV.***

### ***Industrial Application of Expansive Mortar in the Alacranes-Pavón Diversion Canal developed by CIDEM-UCLV.***

**Ing. Yunaisy Roidríguez Correa<sup>1</sup>, Equipo técnico EAH-VC-CIDEM**

1. Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara [eah.da@vc.giat.cu](mailto:eah.da@vc.giat.cu)

*Teléfono:* 42205615      *Móvil:* 52852806.

#### **RESUMEN**

**Problemática:** El desarrollo de nuevos productos utilizando los resultados de las investigaciones, en función de solucionar problemas concretos, empleando materias primas nacionales para la sustitución de importaciones, evidencia la importancia del vínculo Universidad- Empresa. El propósito fundamental de este estudio fue evaluar la impermeabilización de las juntas en un tramo de 300 m del Canal Trasvase Alacranes-Pavón, el que está revestido con losas de hormigón prefabricadas con presencia de socavaciones, erosiones, grietas en las juntas, que en su mayor parte se encuentran en mal estado, provocando pérdidas de agua por infiltración debido a los elevados niveles de permeabilidad en la sección revestida, especialmente de las juntas entre las losas. El mortero fue desarrollado por el Centro de Investigaciones y Desarrollo de Estructuras y Materiales CIDEM-UCLV, sobre la base de empleo de un aditivo expansor de base calcárea, de arcillas calcinadas y calizas como extensores del cemento Portland.

**Objetivo:** Evaluar la efectividad del mortero expansivo, en la disminución de las pérdidas por infiltraciones en el tramo seleccionado del canal trasvase Alacranes-Pavón.

**Metodología:** para la prueba, se diseñó su evaluación y cálculos en dos etapas: primero para las condiciones actuales y después de reparadas las juntas del canal, con la aplicación del mortero expansivo.

**Resultado:** Con los métodos de cálculos empleados se determinó que las pérdidas por infiltración se reducen de un 20% a un 5% en el polígono de prueba.

#### **ABSTRACT**

*Problematic: The development of new products using research results to solve specific problems, using national raw materials to substitute imports, shows the importance of the University-Company link. The main purpose of this study was to evaluate the*

*waterproofing of the joints in a 300 m section of the Alacranes-Pavón Diversion Canal, which is lined with precast concrete slabs with scour, erosions, cracks in the joints, most of which are in poor condition, causing water losses by infiltration due to the high levels of permeability in the lined section, especially in the joints between the slabs. The mortar was developed by the Centro de Investigaciones y Desarrollo de Estructuras y Materiales CIDEM-UCLV, based on the use of a calcareous-based expansive additive, calcined clays and limestone as extenders of Portland cement.*

*Objective: Evaluate the effectiveness of expansive mortar in reducing infiltration losses in the selected section of the Alacranes-Pavón Diversion channel.*

*Methodology: The evaluation and calculations for the test were designed in two stages: first for the current conditions and after the channel joints had been repaired with the application of the expansive mortar.*

*Result: With the calculation methods used, it was determined that infiltration losses are reduced from 20% to 5% in the test polygon.*

**Clave:** Canal; impermeabilización; pérdidas de agua; infiltración, mortero expansivo.

**Keywords:** Channel; waterproofing; water losses; infiltration, expansive mortar.

## 1. Introducción

El desarrollo socio económico y sostenido del país requiere de la participación activa y comprometida, entre otros actores, de los profesionales encargados de la planificación, diseño, construcción, mantenimiento y operación de la infraestructura hidráulica enfocados al campo de las obras hidráulicas.(1)

En Villa Clara los canales de riego tienen más de 25 años de explotación, con predominio de canales sin revestir, constituyendo los de más baja eficiencia, sin embargo, conducen anualmente entre el 60-70% de las entregas de agua que se realizan. Para resolver esta situación y garantizar el incremento de la eficiencia en la conducción del agua de estos canales, es importante determinar y evaluar su estado actual para implementar las soluciones que se requieren. Esta problemática impacta en la planificación del uso del agua en la provincia, que forma parte del plan de la economía al no precisarse objetivamente los volúmenes de pérdidas por este concepto, cuyos volúmenes se estiman en 90 millones de m<sup>3</sup>.

**Objeto de estudio:** Estudiar la factibilidad del empleo de materiales alternativos de producción nacional para la reparación de las juntas en un tramo de 300 m del canal trasvase Alacranes-Pavón, revestido con losas prefabricadas.

### **Tareas Específicas:**

1. Se realiza una búsqueda bibliográfica relacionada con el tema en estudio.
2. Se selecciona y describe el tramo para la prueba piloto.
3. Se ejecuta diagnóstico evaluando las condiciones de limpieza y mantenimiento de las zonas de estudio.
4. Se identifican las acciones para la preparación del canal en la realización de la prueba.
5. Se determinan las pérdidas por filtraciones en un tramo de 300 m en el canal, entre los estacionados 174+00 y 177+00, en dos etapas, antes y después de la aplicación del mortero expansivo.
6. Se aplica el mortero expansivo en las juntas del canal para sellar la junta mortero-losa a partir de la expansión.
7. Se calcula y evalúan los impactos en la disminución de la permeabilidad y como consecuencia de ello, determinar la recuperación de las pérdidas de agua del canal trasvase Alacranes-Pavón mediante el método de "Prueba del Encharcamiento"(método de estancamiento).

### **2. Desarrollo**

La zona de estudio es el Trasvase Alacranes – Pavón se extiende a lo largo de la parte alta de la llanura costera del Norte de Villa Clara en un rumbo aproximado Este – Sureste entre los Ríos Sagua la Grande y Sagua la Chica, está construido hasta el III Tramo con una longitud de 33 km revestido con losas de hormigón. Tiene su Obra de Toma en el dique derecho de la Presa Alacranes y culmina en el Nudo La Palma a la altura del P – 7 del Canal Magistral Calabazar, cerca del poblado El Purio.

Desde el punto de vista de su explotación se divide en tres tramos:

- I y II pertenecen al Complejo Hidráulico Sagua la Grande (0+00:71+73); (71+73:258+06).
- III Tramo al Complejo Hidráulico Sagua la Chica. (258+06:329+18).

Su objetivo fundamental es entregar en ruta a las Estaciones de la Acuicultura, III Prioridad del Sistema de Riego Armonía, dar abasto a la Empresa Azucarera Héctor Rodríguez, recargar la captación del Abasto a Sagua la Grande en Viana y trasvasar al Sistema Hidráulico Sagua la Chica la demanda que requieren el Sistema de Riego Purio hasta el III Tramo que es la última etapa construida y en explotación.

En el proceso de selección del tramo se consultó la ficha técnica del canal; datos generales, métodos de construcción utilizados; tipo de material del dique; compactación; tipo de material del revestimiento; el tamaño y la frecuencia de las grietas.

Posteriormente se seleccionó el tramo de estudio en 300 m entre los estacionados 174+00 y 177+00.



*Figura 1: Canal Trasvase Alacranes-Pavón.*

### 2.1-Trabajo de campo.

En el tramo del canal Alacranes-Pavón, descrito anteriormente, se desarrolló un estudio para determinar las filtraciones antes y después de aplicar el mortero expansivo en las juntas.

- Se procede a la medición y marca del segmento de prueba, para ello se utilizan diferentes herramientas, en este caso se empleó una cinta métrica.

**Posteriormente, se efectuó un diagnóstico identificando las siguientes problemáticas:**

- ❖ Presencia de fisuras o grietas en las secciones que componen el canal con nivel de con separación mayor a 5 mm, con posible deformación de la estructura de drenaje.



*Figura 2 Agrietamiento en canales*

- ❖ Erosión, pérdida del material que conforma la superficie en algunos sectores de la estructura.



**Figura 3. Erosión de la superficie en el cuerpo de la estructura**

- ❖ Presencia de vegetación: Crecimiento de vegetación en las juntas de la estructura y en cercanías, las posibles causas del deterioro pueden ser causadas por ambientes húmedos propicios para el crecimiento de vegetación en pequeños espacios de la estructura y los daños causados corresponden a fisuramientos que se pueden atender con tratamientos de superficie.



**Figura 4. Daño por vegetación**

- ❖ Erosión de juntas: Pérdida parcial o total del material que conforma la junta entre las secciones que forman la estructura, las posibles causas del deterioro pueden ser causadas por asentamiento diferencial entre losas y la contracción la de mezcla utilizada.



**Figura 5. Erosión de juntas en el cuerpo de la estructura**

**Luego de identificar las problemáticas existentes se efectuaron una serie de acciones para preparar el tramo:**

1. Conciliación con los usuarios para las posibles afectaciones en las entregas.

2. Desbroce a ambos lados del tramo seleccionado: El desbroce se realizó por ambas márgenes en un ancho de 4 m por la izquierda y 6 m por la derecha y la reparación del vial incluyó el bacheo con rocoso desde un préstamo situado a 5 km de la obra.
3. Colocación de 2 compuertas reguladoras con marco y elevador.
4. Limpieza de la sección, azolves con un espesor promedio de 30 cm. El azolve extraído se regó en la zona exterior del canal, sin que obstaculizara la operación ni la ejecución de trabajos de mantenimientos futuros.
5. Sobre el revestimiento en el canal, se evaluó todo el recorrido para la descripción, medición, evaluación de grietas, y roturas de juntas; además, se fragmentó el 30% de las juntas en el tramo seleccionado del canal, asumiendo que el tramo representa el trayecto más deficiente del canal.

Al realizar la evaluación del tramo en estudio 300 m entre los estacionados 174+00 y 177+00, se identificaron todas las fisuras, grietas, roturas y juntas deterioradas.

Previamente se repararon las oquedades con la aplicación de 1 m<sup>3</sup> de hormigón con el objetivo de alcanzar el espesor de revestimiento.

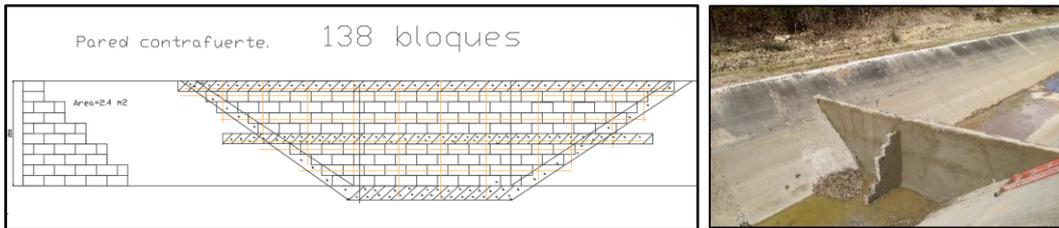
El estudio incluyó una clasificación de las grietas en función de su importancia. La Tabla 1 presenta una situación actualizada de esta evaluación.

**Tabla 1: Resumen de deformaciones en el tramo del Canal Alacranes –Pavón**

TIPO DE DEFORMACIÓN	CANTIDAD	LONGITUD TOTAL
	(U)	(m)
GRIETAS	60	2
ROTURAS	8	19,5
JUNTAS DETERIORADAS	10	41,5
AUSENCIA DE JUNTAS	37	287
<b>TOTAL</b>		<b>350</b>

6. Construcción de dos muros de bloques de 20 x40 x 20 cm.

La realización de los trabajos de reparación demanda de trabajar el canal en fase seca, por lo que fue necesario cerrar el tramo de 300 m con muros-diques. Para este fin se construyeron dos muros de bloques de 20 x40 x 20 cm, que fueron macizados, reforzados con cerramientos intermedio y superior para garantizar su estabilidad.



**Figura 6: Preparación de las juntas en el canal.**

### **3. Aplicación del mortero en el canal.**

Antes de aplicar el producto se precedió a la obtención del mortero seco añadiendo solamente la adición mineral LC2 (60% de arcilla calcinada, 35% de caliza y 5% de yeso), producida en prueba industrial en la fábrica de cemento Siguaney, Empresa de Materiales de Construcción Sancti Spiritus. Se realizaron una serie de negociaciones para su adquisición.

Para determinar el cumplimiento de estos parámetros se construyó un polígono de pruebas en el propio canal, cerrando el tramo de 300 metros de longitud, en este caso con muros de bloques y hormigón.

A continuación, se describen todas las tareas realizadas durante la aplicación:

- 1- Se contrató a la Empresa de Servicios Técnicos Industriales situada en el Santo, municipio de Encrucijada, Villa Clara, perteneciente a AZCUBA como constructor que se encargó del proceso de fabricación del mortero (según Instructivo Técnico para Morteros Expansivos) y la aplicación en el canal.
- 2- Los materiales (para 1m<sup>3</sup> de mortero) fueron pesados y luego mezclado del Batching plant.



**Figura 3.1. Pesado de los materiales a usar en el mortero.**

- 3- Mezclado en seco todos los materiales.



*Figura 3.2. Mezclado de las materias primas.*

- 4- Luego de mezclado se colocó en un camión hormigonera sin añadir aún el agua de amasado.



*Figura 3.3. Transporte del mortero hacia el canal.*

- 5- Con el objetivo de que no se ocasionara el fraguado del cemento durante la transportación desde el batching plant hasta el canal, el agua se midió en litros y se añadió posteriormente en la zona de estudio.
- 6- Una vez preparado el mortero se realizó la toma de muestras en probetas para efectuar los ensayos de Resistencia a la compresión a las edades de 7 y 28 días y el ensayo de Absorción capilar en el Laboratorio de la Facultad de Construcciones de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.



*Figura 3.4 Toma de muestras para los ensayos.*

- 7- Se procedió a la colocación del mortero en el canal verificando que los obreros cumplieran con las medidas de protección para trabajar con el aditivo expansor las que relacionamos a continuación:
- ✚ Trabajar con el producto en lugares ventilados y con protección naso – bucal (mascarilla). Si se produce inhalación, retirarse a un lugar ventilado.
  - ✚ Trabajar con guantes y ropa de protección. En caso de contacto, eliminar el producto en seco y luego lavar con agua y jabón.
  - ✚ Trabajar con anteojos durante la manipulación del producto. Lavar con abundante agua durante varios minutos si hace contacto con los ojos y consultar a un médico.
- 8- Se limpiaron las juntas usando cepillos, escobas y otras herramientas para eliminar rastros de mortero anterior.
- 9- Las juntas se humedecieron para evitar que la sustancia pudiera absorber el agua de amasado del mortero.



*Figura 3.5 Humedecimiento de las juntas.*

- 10- El mortero se aplicó en una capa homogénea hasta que rellenara el volumen de la junta.



*Figura 3.6. Colocación del mortero en las juntas del canal.*

- 11- Posterior a la aplicación del mortero, durante tres días se le realizó un curado intensivo entre 2-4 horas utilizando agua con mangueras.

12- Se comprobó que el mortero selló las juntas, alcanzó la expansión adecuada, y no se observó ni fisuras, ni grietas en los mismos.



*Figura 3.7. Canal con Juntas reparadas.*

En el proceso de aplicación se utilizó 4 toneladas de mortero expansivo.

#### **4. Resultados del estudio.**

**Cálculo de las pérdidas por infiltración y evaporación en las dos etapas para la evaluación de mejoras en impermeabilidad.**

##### **4.1- Cálculo de las pérdidas por infiltración antes de la reparación de las juntas:**

Las mediciones para la primera etapa se realizaron en la semana del 15 al 22 de febrero, se midieron los niveles diariamente a la misma hora. A partir de estas mediciones y auxiliándonos de ecuaciones se calcularon las pérdidas por filtraciones en el periodo evaluado.

Para los cálculos de la infiltración, se utilizó la fórmula sugerida por Kraatz:

$$S = W (d_1 - d_2) L / P * L \quad (1)$$

Además, se determinó el perímetro mojado, el área de la sección transversal y la evaporación durante la prueba.

##### **EVAPORACION.**

Los datos de lámina de evaporación fueron aportados por el centro Meteorológico provincial de Villa Clara (CMP), los cuales se registran en la estación Climática Sagua la Grande, perteneciente a la red hidrometeorológica del Instituto Nacional de Meteorología (INMET), en la provincia existen 5 Estaciones Climáticas y la Estación de Sagua es una de ellas, todas están certificadas y cumplen con las Normas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM)

La fórmula general a empleada fue la siguiente:

$$We = A \cdot E \cdot Ce \quad (2)$$



*Figura 3.7. Canal con Juntas reparadas.*

Los resultados obtenidos durante el estudio antes de aplicado el producto:

En el polígono de prueba en las condiciones actuales, se pierden por el concepto de infiltración el 20 % del volumen total.

**Cálculo de las pérdidas por infiltración después de la reparación de las juntas:**

En la segunda etapa se aplicó la misma metodología de cálculo, los resultados después de la aplicación del mortero expansivo se muestran a continuación:

Como resultado del estudio realizado en el polígono de prueba del canal, se determinó que al aplicar el mortero expansivo se reducen las pérdidas por infiltración a un 5% comparado con las condiciones iniciales que tenía la infraestructura, lo que demuestra la efectividad del uso del producto en el sellaje de las juntas de las losas de hormigón que revisten el canal.

**Resultados del ensayo de Resistencia a la compresión.**

Los resultados obtenidos por el mortero colocado en el canal en cuanto a la Resistencia a la compresión son satisfactorios, según la NC 175 -2018. Morteros de albañilería especificaciones para un mortero Tipo III la resistencia mínima a los 28 días debe ser 5,2 MPa la resistencia alcanzada por el mortero es superior: 8,5 MPa.

**4.2 - Impactos o beneficios asociados a las mejoras de impermeabilización en el canal trasvase Alacranes-Pavón.**

**Beneficios:**

1. Con la recuperación de las pérdidas por infiltración en el polígono de prueba en su extensión a toda la longitud del Canal Trasvase Alacranes-Pavón, y de un

- comportamiento similar al obtenido en el ensayo, se garantizaría una mejora sustancial en el uso eficiente del agua embalsada con el incremento de la eficiencia en conducción, lo que conllevaría a reducir los volúmenes de entrega por obra de toma.
2. Con los volúmenes que se recuperarían se pudiera garantizar el incremento en la demanda del riego en la agricultura, tanto en la caña como en el arroz que son los principales cultivos que se abastecen de esta obra.
  3. Mejoras representativas en el nivel de estrés hídrico en el territorio que abarca el estudio, por la disminución de las extracciones en las fuentes o beneficiar áreas adicionales con los volúmenes que se recuperarían para garantizar las demandas a los usuarios.
  4. Alargaría la vida útil del canal como infraestructura hidráulica manteniendo la eficiencia de diseño para este tipo de obra y disminuye los niveles de actividad en las labores de mantenimiento futuras.

#### **Impactos:**

La demanda actual del Canal Trasvase Alacranes – Pavón es de 35 hm<sup>3</sup> de agua, tomando como referencia los resultados obtenidos en el estudio en el polígono de prueba y su extensión a todo el canal, antes de aplicado el mortero expansivo en las juntas, se perdían 7 hm<sup>3</sup> por infiltración equivalente al 20 % del agua que circulaba por el canal y luego de, de aplicar el mortero, las pérdidas se reducen al 5% que equivale a 1.75 hm<sup>3</sup>, por lo cual se recupera 15 % que representan 5.25 hm<sup>3</sup> de agua. Los volúmenes recuperados en condiciones actuales garantizarían el riego para un incremento de 380 ha de arroz, con un índice productivo de 3300 m<sup>3</sup>/toneladas, un rendimiento agrícola de 4.18 toneladas/ha según programa de desarrollo hasta el 2030 (tomando como referencia el año 2021). Teniendo en cuenta la norma bruta del arroz de 13783 m<sup>3</sup>/ha y una eficiencia del 80% se obtiene una producción estimada de 1590 toneladas de arroz cascara húmedo.

#### **5. Conclusiones**

- 1- El mortero industrial colocado en el canal cumple con los requisitos de resistencia requeridos por la norma cubana NC 175 2018 Morteros de Albañilería. Especificaciones. A los 28 días se evidencia un incremento de un 20% de la resistencia alcanzada con respecto al mortero elaborado a escala laboratorio. Se

considera entonces que fue producido de forma correcta y que cumple con las expectativas planteadas.

- 2- Se determinaron las pérdidas de agua por infiltración en el polígono de ensayo de la estación 174+00 a la 177+00 en 300 m del Canal Trasvase Alacranes-Pavón a través de método del estancamiento.
- 3- El estudio realizado forma parte de las medidas propuestas para garantizar el cumplimiento del indicador de uso del agua eficiente en canales que se mide en el Programa Integral de Desarrollo Hidráulico Nacional hasta el 2030.
- 4- Las pérdidas por infiltración obtenidas después de la aplicación del mortero en el tramo de estudio pudieran reducirse en un 15% en toda la longitud del canal respecto a los resultados donde se realizó el ensayo.
- 5- Con la aplicación de 4 toneladas de mortero expansivo, se demostró la factibilidad de su utilización en los programas de mantenimiento y rehabilitación de canales revestidos con losas prefabricadas de hormigón.
- 6- El mortero expansivo no requiere la importación de una gama de productos, ni tecnologías sofisticadas, puede ser aplicado eficientemente por las brigadas encargadas del mantenimiento de esta infraestructura a partir del equipamiento que ellas poseen, según procedimiento elaborado por el Centro de Investigaciones y Desarrollo de Estructuras y Materiales CIDEM-UCLV.

## 6. Recomendaciones

- 1- Extender los trabajos de aplicación del mortero expansivo en el Canal Trasvase Alacranes - Pavón en toda su longitud, priorizando las zonas donde las juntas se encuentren en su estado más deficiente, para reducir las pérdidas por concepto de infiltración.
- 2- Evaluar el comportamiento del producto en las condiciones reales de explotación.
- 3- Iniciar una nueva etapa de estudio con la extensión del producto manteniendo una observación sistemática y el impacto del mismo en la recuperación de eficiencia en el canal.

## 7. Referencias bibliográficas

- a. J ALCIDES MLMDL, NORBERTO; MODESTO, CRESPO GÓMEZ; YOEL GONZÁLEZ, MARTÍNEZ; JOSÉ B, RODRÍGUEZ MARTÍNEZ; YAKELÍN, LÓPEZ RODRIGUEZ; MARAY, MONAGAS GARRIDO; EMILIO,



SAULEDA ESCARTÍN. . Una estrategia de gestión para la alerta temprana ante peligro de inundaciones debido a intensas lluvias. Ingeniería Hidráulica y Ambiental [Online],. 2010. ;Vol. 31.

b. ANDERS BRUGAL PÉREZ AAD, NORBERTO DE LEÓN MARRERO. . El coeficiente de Manning y el cambio de precisión de los MDT en la simulación hidráulica [Online], . Ingeniería Hidráulica y Ambiental [Online],. 2010.;Vol. 31.

c. ESTRADA VI. Diseño de la investigación, Diseño de la investigación en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, . 2008. .

d. RODRIGUEZ RUIZ P. Conceptos y elementos de un canal. (2010).

e. Francisco. BP. Máster en Ingeniería Medioambiental y Gestión del agua, . Canales Generalidades Obras y elementos (2007/2008).

f. PEDRO RODRÍGUEZ RUIZ. Capitulo I. Estudios de Campo Agosto 2008.

g. Cristhian Felix Cadena Cornejo MRSQ, Madelaine Del Carmen Villalta Echeverría. Comparación de tipos de flujos, para diferentes secciones de canales. . January 2018. .

h. Dr.Juan Arcadio Saiz Hernández DMVOC, Ing. Juan Alejandro Saiz Rodríguez Hermosillo, . Canales Abiertos.Material didáctico para el curso de Hidráulica I Programa de Ingeniería Civil. Septiembre,(2012).

## **8. Anexos**

