

**INFORME DE  
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA  
LM-PI-PV-AT-63-06**

**LABORATORIO OJM CONSULTORES  
DE CALIDAD Y LABORATORIOS S.A.  
ENCARGADO DEL CONTROL DE CALIDAD**

**PROYECTO  
“CONSTRUCCIÓN DE LA NUEVA CARRETERA A SAN CARLOS,  
SECCIÓN I: SIFÓN – LA ABUNDANCIA”**

**DICIEMBRE DE 2006**

## ÍNDICE

	Página
1. Potestades .....	3
2. Alcances y objetivos de auditoría .....	3
3. Descripción del proyecto .....	4
3.1. Metodología de la Auditoría Técnica.....	5
3.2. Generalidades del proceso de auditoría .....	7
4. Hallazgos y observaciones de la auditoría técnica.....	8
4.1. Hallazgos .....	8
4.2. Observaciones .....	22
5. Conclusiones.....	24
6. Recomendaciones .....	25
Anexos .....	27

**INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA**  
**LABORATORIO OJM CONSULTORES DE CALIDAD Y LABORATORIOS S.A.**  
**ENCARGADO DE CONTROL DE CALIDAD**  
**PROYECTO**  
**“Construcción de la nueva carretera a San Carlos,**  
**Sección I: Sifón-La Abundancia”**

## **1. POTESTADES**

La auditoría técnica externa a los procesos, controles, laboratorios, proyectos e instituciones públicas que efectúan sus labores para el sector vial, se realiza de conformidad con la disposición del artículo 6 de la Ley N° 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias, dentro del Programa de Fiscalización de la Calidad de la Red Vial del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

De manera adicional, el proceso de auditoría se respalda en el pronunciamiento C-087-2002 del 4 de abril del 2002, de la Procuraduría General de la República, que indica:

*“...la fiscalización que realiza la Universidad a través del Laboratorio es una fiscalización externa, que trasciende los contratos de mérito, y por ende, obras específicas, para abarcar la totalidad de la red nacional pavimentada (por ende, proyectos ya finiquitados) y que incluso podría considerarse “superior”, en el sentido en que debe fiscalizar también los laboratorios que realizan análisis de calidad, auditar proyectos en ejecución, entre otros aspectos, evaluar la capacidad estructural y determinar los problemas de vulnerabilidad y riesgos de esa red. Lo cual implica una fiscalización a quienes podrían estar fiscalizando proyectos concretos.”* (El subrayado no es del texto original).

## **2. ALCANCES Y OBJETIVOS DE AUDITORÍA**

El alcance de esta auditoría es determinar el grado de cumplimiento con relación a los requerimientos señalados en el contrato y en los documentos de referencia relacionados con el proyecto, así como los documentos de la legislación nacional aplicables<sup>1</sup>, para evaluar la competencia técnica del laboratorio OJM Consultores

---

<sup>1</sup> Entre otros que se señalan en el contrato: Ley de Contratación Administrativa N° 7494 y Reglamento General de Contratación Administrativa N° 25038-H.

Contrato de obra pública refrendado por la Contraloría General de la República.

Las aclaraciones y/o modificaciones a los documentos que eventualmente pudiera emitir la Administración. Disposiciones Generales.

de Calidad y Laboratorios S.A. que está a cargo de las actividades de control de calidad que se efectúan en la etapa actual de construcción por parte del contratista.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Como parte del proyecto de la “Construcción de la nueva carretera a San Carlos”, la Sección I: Sifón - La Abundancia, fue diseñada en su totalidad, excepto los puentes, por la empresa Moh and Associates, Inc., contratada por el Gobierno de Taiwán, tomando como base el corredor trazado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.

La obra contratada corresponde a la Sección I, la cual tiene una longitud de 29,73 km y se inicia con la apertura de dos frentes de trabajo, uno que se origina en las cercanías de San Ramón (Sifón) con rumbo a Ciudad Quesada (La Abundancia). El otro se ubica en las cercanías de Ciudad Quesada (La Abundancia), trabajando en sentido contrario hasta completar la totalidad del Proyecto.

Se estableció como fecha inicial del contrato el 28 de octubre de 2005 y el plazo para la ejecución de las obras es de 1460 días efectivos de trabajo.

El monto del contrato es por la suma de \$ 61.049.657 (sesenta y un millones cuarenta y nueve mil seiscientos cincuenta y siete dólares) y el origen de los recursos para financiar la construcción del proyecto se divide de la siguiente forma:

- Préstamo Gobierno República de China: \$35.000.000
- Donación Gobierno República de China: \$15.000.000
- Aporte de MOPT-CONAVI<sup>2</sup> : \$11.049.657

El contrato incluye la construcción de nueve puentes: Río Barranca, Río Espino, Quebrada Yeguas, Quebrada Laguna, Río Tapesco, Quebrada Arena, Río Seco, Río La Vieja y Río Ron Ron.

---

Memorándum de Norma y Procedimientos.  
Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes (CR-77).  
Manual de Construcción para Caminos, Carreteras y Puentes (MC-83).  
<sup>2</sup> Consejo Nacional de Vialidad

### 3.1. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

El equipo auditor realizó un análisis exhaustivo de la documentación de control de calidad que se adjuntó en las estimaciones de pago N°1, N°2 y N°3, que conforman el soporte para el pago de las obras realizadas. Además, se visitaron los sitios donde se ejecutaban las actividades de control de calidad de los materiales y procesos constructivos del proyecto y se realizaban entrevistas al personal relacionado con estos procesos, sin embargo además

De conformidad con los procedimientos de auditoría, para la emisión de este informe se evaluaron factores tales como: programas de control de calidad, programa de muestreo y programa de calibración de equipos de medición y ensayo, entre otros, así como la documentación adjuntada en las estimaciones de pago de las diversas actividades realizadas en los frentes de trabajo.

Los hallazgos y las observaciones contenidas en este informe de auditoría técnica externa, son producto del análisis exhaustivo de la documentación concerniente con el proyecto durante el periodo que abarca las estimaciones de pago N°1, N°2 y N°3 y de la evidencia recopilada durante las visitas a los frentes de obra que se mantenían activos en el proyecto, tal y como se detalla en el siguiente cuadro:

FECHA	LUGAR DE VISITA	PERSONAL ENTREVISTADO
30 de marzo de 2006	Oficinas de departamento de obras	Ing. Carlos Solera Molina Jefe de la unidad de inspección
2 de mayo de 2006	Instalaciones de laboratorio en proyecto (Alto Villegas) Frentes de obra: -sifón - bastión #2, puente barranca - kilómetro 16+500 - La abundancia	Ing. Oscar Julio Méndez Soto Consultor de calidad  Inspectores de obra <sup>a</sup>
9 de mayo de 2006	Instalaciones de laboratorio en proyecto (Alto Villegas)  Frentes de obra: - bastión #2, puente barranca	Ing. Oscar Julio Méndez Soto Consultor de calidad  Inspector de puentes <sup>b</sup>
16 de mayo de 2006	Frentes de obra: - bastión #2, puente barranca - la abundancia	Sr. Benjamín Calderón Madrigal Técnico de laboratorio Inspector de puentes <sup>b</sup>

<b>FECHA</b>	<b>LUGAR DE VISITA</b>	<b>PERSONAL ENTREVISTADO</b>
17 de mayo de 2006	Oficinas de departamento de obras	Ing. Carlos Solera Molina Jefe de la unidad de inspección
23 de mayo de 2006	Oficinas de departamento legal	Recolección de documentación

<sup>a</sup> Sr. Roberto Ugalde y Sr. William Ulate

<sup>b</sup> Sr. Jesús García

### 3.2. GENERALIDADES DEL PROCESO DE AUDITORÍA

<b>Laboratorio auditado:</b>	OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A.
<b>Lugar de la visita:</b>	El Alto Villegas, San Ramón
<b>Contratante:</b>	MOPT-CONAVI
<b>Adjudicada la construcción a:</b>	RSEA Engineering Corp.
<b>Subcontratista:</b>	Constructora Sánchez Carvajal
<b>Jefe de unidad de inspección de proyecto:</b>	Ing. Carlos Solera Molina
<b>Ingeniero de carretera:</b>	Ing. Albert Sánchez González
<b>Ingeniero de puentes:</b>	Ing. Reinaldo Jiménez Araya
<b>Consultor de calidad:</b>	Ing. Oscar Julio Méndez Soto
<b>Técnicos de laboratorio:</b>	Sr. Eloy Díaz Ramírez Sr. Benjamín Calderón Madrigal
<b>Auditores encargados:</b>	Ing. Víctor Cervantes Calvo Ing. Ellen Rodríguez Castro
<b>Estimaciones de pago consideradas en este informe:</b>	Estimación N°1: del 28 de octubre de 2005 al 31 de enero de 2006  Estimación N°2: del 31 de enero de 2006 al 28 de febrero de 2006  Estimación N°3: del 28 de febrero de 2006 al 31 de marzo de 2006.

## 4. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

Para los efectos del informe técnico, se denominará a partir de esta sección al laboratorio auditado “OJM Consultores de Calidad y Laboratorios S.A.” como el laboratorio, al Consultor de Calidad Ing. Oscar Julio Méndez Soto como el Consultor de Calidad y a la empresa “RSEA Engineering Corporation” como el Contratista.

### 4.1. HALLAZGOS

#### 4.1.1 Gestión del proceso de control de calidad

**Hallazgo N° 1: No se tiene instalado el laboratorio de campo en el sitio de obra.**

El consultor de calidad presenta el día 23 de septiembre de 2005 en el informe N°299-2005 el “Programa de Trabajo para el Control de Calidad” del proyecto referido, en este documento indica que para realizar las actividades de control de calidad “se utilizaran dos laboratorios de campo y uno central”.

Sin embargo, durante varias visitas realizadas al proyecto (ver cuadro de visitas) el equipo auditor observó que al 16 de mayo de 2006, el consultor no tenía habilitadas, ni debidamente equipadas las instalaciones del laboratorio en el sitio de obra para atender el control de calidad de los procesos constructivos de las actividades de terraplenado y colada de hormigón estructural.

Desde la fecha en que se concedió la orden de inicio (28 de octubre de 2005) hasta la visita mencionada, transcurrieron 257 días naturales.

**Fundamento Normativo:** Ley, Disposición Vial SC-03-2001, apartado 4.1 “Para el contratista”, inciso i.

Los responsables de la calidad de las obras adjudicadas (Contratista-Consultor) y la unidad de inspección del CONAVI, debieron asegurarse antes de iniciar las obras o al menos durante la fase inicial del proyecto (terraplenado y colada de hormigón estructural), que el laboratorio se encontrara debidamente establecido en el sitio de obra y que dispusiera de la capacidad instalada suficiente para ejecutar todas las actividades relativas al control de calidad de la fase del proceso constructivo y de los materiales que se incorporan al proyecto.

Esta situación afecta el proceso de toma de decisiones en sitio, que es inherente de la etapa constructiva en cuestión, y que son fundamentales para ejecutar la

secuencia constructiva. Dichas decisiones deben estar basadas en los ensayos de control de calidad de materiales que realiza el personal del consultor de calidad.

El consultor de calidad manifiesta que los ensayos de caracterización de suelos, se realizan con antelación a los trabajos de terraplenado (corte y relleno) y abarcan una profundidad aproximada de 6 metros, sin embargo al contrastar con los documentos que se presentan en las estimaciones de pago, esta auditoría determinó que algunos cortes realizados alcanzaron profundidades de hasta 20 m. Tales condiciones justifican que sea pertinente mantener el laboratorio de materiales en sitio debidamente instalado y equipado, con el fin de realizar ensayos a los materiales que no hayan sido caracterizados, y que surgen como parte del proceso constructivo, según el avance de la obra.

**Hallazgo N° 2: El control de calidad realizado no ha sido oportuno durante el periodo de octubre de 2005 a julio 2006.**

Desde el inicio del proyecto hasta el momento de la última visita, el Consultor de Calidad ha dispuesto del laboratorio central ubicado San José-Curridabat para cumplir con las actividades de control de calidad, para lo cual traslada las muestras a ser ensayadas, desde el proyecto a dicho laboratorio, una vez por semana.

El principio básico de funcionamiento de un laboratorio de control de calidad destacado en el sitio de la obra (laboratorio de campo), es la capacidad de respuesta y oportunidad de reacción para controlar y corregir, de ser necesario, el proceso constructivo y garantizar la calidad final de la obra. Por lo tanto, el principal efecto del traslado de las muestras para ser ensayadas fuera del proyecto, es la disminución en la eficacia del tiempo de respuesta.

**Fundamento Normativo:** Disposición vial SC-03-2001, apartado 6.3 "Parámetro de pago"

Esta situación compromete el cumplimiento de las obligaciones pactadas contractualmente, así como las buenas prácticas de ingeniería, al no obtener los resultados requeridos para un oportuno control de calidad del proceso constructivo y de los materiales que se incorporan al proyecto, para garantizarle al Estado que se cumplan los requerimientos contractuales de calidad de la obra que se construye.

#### **4.1.2 Documentación de las actividades de control de calidad**

##### **Programa de control de calidad**

**Hallazgo N° 3: El programa de control de calidad no incluye todos los ensayos necesarios para la caracterización de los materiales incorporados.**

El “Programa de Trabajo para el Control de Calidad” presentado el día 23 de setiembre de 2005 por el consultor de calidad, mediante informe N°299-2005 carece de actividades necesarias para el control de calidad de los materiales que se incorporan al proyecto:

1. El programa es omiso en indicar ensayos de control de calidad, entre otros, a la materia prima utilizada para la producción de hormigón estructural, en particular ensayos a los agregados y al agua tales como los que se indican en la Tabla 1.

**Tabla 1. Ensayos que no se incluyen dentro del “Programa de Trabajo para el Control de Calidad” para el control del agregado para la producción de hormigón estructural**

<b>MATERIAL</b>	<b>ENSAYOS NO CONSIDERADOS</b>
Agua	Calidad
Agregado grueso	Calidad
	Granulometría
Agregado fino	Calidad
	Granulometría
	Módulo de finura
	Materia orgánica

Fuente: MC-83 Anexo 6.03 A Guía para muestreo y pruebas

2. No se especifican actividades de control de calidad para el uso que se hará del hormigón estructural de 225 kg/cm<sup>2</sup>, a pesar de haber sido presentado el diseño de mezcla de este tipo de concreto, así como la respectiva revisión realizada por otro laboratorio.
3. En el programa no incluyen ensayos para el hormigón estructural definidos en el MC-83 (sección 6.03 A) tales como los que se indican en la Tabla 2.

**Tabla 2. Ensayos que no se incluyen dentro del “Programa de Trabajo para el Control de Calidad” para el control del hormigón estructural**

MATERIAL	ENSAYO NO CONSIDERADOS
Hormigón	Resistencia
	Aire y asentamiento
	Rendimiento
	Factor de cemento
	Peso unitario

Fuente: MC-83 Anexo 6.03 A Guía para muestreo y pruebas

**Fundamento Normativo:** CR-77 sección 602 A.02 “Materiales” y MC-83 Anexo 6.03 A “Guía para muestreo y pruebas”

Es requisito primordial que se analicen las propiedades físico-mecánicas y condiciones generales de la materia prima que se emplea en la construcción de obras de concreto, para determinar si cumplen las especificaciones contractuales y determinar los ajustes y correcciones, en caso de ser necesario.

**Hallazgo N° 4: El criterio establecido en el programa de control de calidad para la frecuencia de ensayos aplicada en las labores de control de calidad de las compactaciones, no se cumple.**

Al contrastar el cumplimiento del criterio definido por el consultor de calidad para la frecuencia de ensayos de control en el proceso de compactación, con los resultados que se reportan en las estimaciones de pago, se encuentra que la cantidad de ensayos realizada, no cumple con la frecuencia establecida. El manual de construcción para caminos y puentes MC-83, establece para actividades de terraplén que *“inmediatamente después de tendido y compactado”* se debe hacer una comprobación de compactación de campo cada 250 m.

De conformidad con lo establecido en la sección 203.11 de la “Especificaciones generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes” CR-77 donde se indica que *“los terraplenes construidos con suelos deberán trabajarse en capas sucesivas horizontales de un espesor, medidas sueltas, que no sobrepase los 25 cm”*, se realiza un análisis de la cantidad de ensayos que se debían de haber efectuado, utilizando los diagramas de corte y relleno presentados en las estimaciones, contra las cantidad de ensayos realizados para esto se estimó que las capas una vez compactadas tendrían un espesor final de 20 cm. Por tanto las labores de control de compactación evidencian una omisión en la cantidad de ensayos que se realizaron, tal como se puede apreciar en la Tabla 3 a y b.

**Fundamento Normativo:** CR-77 sección 203.11 “Método de construcción” y MC-83 Anexo 6.03 A “Guía para muestreo y pruebas”.

El no cumplir con la frecuencia de los ensayos para las actividades del control de calidad de las labores de terraplenado no garantiza la calidad de dichas labores.

**Tabla 3 a. Frecuencia de ensayos reportada en las estimaciones de pago.  
Sección Sifón-Barranca-Espino (Longitud del tramo 6770 m).**

Estacionamiento <sup>A</sup>		Volumen relleno, m <sup>3</sup>	Nº de Capas <sup>B</sup>	Ensayos a realizar <sup>C</sup> (a cada 225 m)	Ensayos reportados (a cada 225 m)
Inicio	Final				
11+675	11+900	6647,0	20	20	7
11+900	12+125	13658,0	80	80	37
12+350	12+575	70731,0	100	100	71
12+575	12+800	15283,6	54	54	20
12+800	13+025	13220,5	64	64	7
13+025	13+250	12491,8	54	54	16
13+250	13+475	11055,5	64	64	31

<sup>A</sup> Se define como la estación 11+000 como inicio para la determinación de la frecuencia del muestreo, según se define en el programa de control de calidad.

<sup>B</sup> Se estima que el espesor de capa compactado es de 20 cm. (203.11 de CR-77) con el cual se define la cantidad de capas para la altura del relleno reportada en las estimaciones.

<sup>C</sup> El consultor de calidad en el programa de control de calidad, establece que para la sección de Sifón – Espino la frecuencia para control de compactación en sitio será cada 225 m.

**Tabla 3 b. Frecuencia de ensayos reportada en las estimaciones de pago.  
Sección Ron Ron – Abundancia (Longitud del tramo 5130 m).**

Estacionamiento <sup>A</sup>		Volumen relleno, m <sup>3</sup>	Nº de Capas <sup>B</sup>	Ensayos a realizar (a cada 250 m)	Ensayos reportados (a cada 250 m)
Inicio	Final				
37+250	37+500	24451,7	84	84	4
37+500	37+750	15440,0	80	80	58
37+750	38+000	9294,5	20	20	7
38+250	38+500	13330,1	60	60	12
38+500	38+750	40721,7	54	54	9

<sup>A</sup> Se define como la estación 11+000 como inicio para la determinación de la frecuencia del muestreo, según se define en el programa de control de calidad.

<sup>B</sup> Se estima que el espesor de capa compactado es de 20 cm. (203.11 de CR-77) con el cual se define la cantidad de capas para la altura del relleno reportada en las estimaciones.

**Hallazgo N° 5: En las estimaciones de pago no se reportan ensayos para la caracterización de suelos.**

Al analizar las estimaciones de pago N° 1, 2 y 3, se observa que no se reporta ninguna actividad de control de calidad que contemple ensayos para la identificación y clasificación de suelos utilizados en las labores de terraplenado “Excavación de préstamo caso 2” que se realizaron durante el periodo del 28 de octubre de 2005 al 31 de marzo de 2006 y que fueron pagadas mediante el ítem 203(8) tal como se detalla en la Tabla 4.

El CR-77 en la sección 203.08 establece que la excavación de fuentes elegidas por el contratista (préstamo caso 2) deben *“tener un CBR igual o mayor al utilizado en el diseño de pavimento”* y ser aprobadas por el ingeniero. Para el diseño de la estructura del pavimento el valor de CBR determinado y utilizado es de 5%, así mismo en el documento donde se presenta el diseño se advierte que *“en aquellas secciones donde el valor de CBR de subrasante es inferior al 5%, deberá colocarse un espesor de préstamo seleccionado para acabado (CBR ≥ 10%).”*

**Tabla 4. Actividades de terraplenado**

Actividad (Item)	Excavación de Préstamo Caso 2 203(8)
Estimación N° 1	14.328,08 m <sup>3</sup>
N° 2	3.366,6 m <sup>3</sup>
N° 3	3.366,6 m <sup>3</sup>
Total	21.061,28 m <sup>3</sup>
Precio Unitario	3,64 \$/ m <sup>3</sup>
Total	\$ 76.663,1

Es criterio de esta auditoría que es de suma importancia reportar en las estimaciones de pago los resultados de los ensayos de los suelos que el contratista ha utilizado como material para “Excavación de préstamo caso 2”, con el fin de establecer si tales materiales cumplen con los requisitos establecidos en el diseño de la estructura y determinar si estos son adecuados para ser utilizados. Lo anterior adquiere mayor relevancia al considerar que en el documento donde se presenta el diseño de la estructura se indica *“Nótese que todas las muestras obtenidas corresponden a suelos pobres, es decir arcillas de alta plasticidad (CH) y limos de alta compresibilidad (MH)”* (el subrayado no pertenece al original).

**Fundamento Normativo:** CR-77 sección 203 “Excavación y terraplenado” y MC-83 Anexo 6.03 B “Lista de magnitud de las muestras de materiales”

Es un principio fundamental que los suelos o materiales que se disponen en actividades de terraplenado, sean clasificados y caracterizados en sus propiedades físico-mecánicas, para establecer si estos materiales cumplen las especificaciones contractuales y determinar si son aptos para ser utilizados o si deben ser sustituidos por materiales que cumplan con los requerimientos contractuales y las especificaciones nacionales.

El análisis riguroso de los materiales y las obras realizadas, es la herramienta que se debe aplicar para contar con el soporte técnico requerido para justificar el pago de la obra realizada por el contratista. La ausencia de actividades de control de calidad y caracterización de materiales representa un riesgo para la calidad de la obra.

**Hallazgo N° 6: No se realizaron actividades de control de calidad en la totalidad de los trabajos de terraplenado.**

El control de calidad para determinar la compactación de los rellenos no abarca la totalidad de los trabajos realizados, ya que se encontró evidencia documental en las estimaciones de pago, de trabajos de relleno de terraplenes sin control de compactación.

En la Tabla 5 se enlistan las secciones en las cuales no se realizaron trabajos de control de compactación por parte del laboratorio del consultor de calidad.

**Tabla 5. Ensayos realizados en las obras de relleno y cantidad de ensayos que se debieron realizar, según programa de control de calidad**

Estacionamiento		Volumen relleno, m <sup>3</sup>	N° de Capas <sup>1</sup>	Ensayos a realizar (a cada 250 m)	Ensayos reportados (a cada 250 m)
Inicio	Final				
37+000	37+250	19462,0	104	104	0
38+000	38+250	9422,9	14	14	0
38+750	39+000	34561,2	80	80	0
39+000	39+250	18737,3	30	30	0

<sup>1</sup> Se estima que el espesor de capa compactado es de 20 cm. (203.11 de CR-77) con el cual se define la cantidad de capas para la altura del relleno reportada en las estimaciones.

**Fundamento Normativo:** Disposición vial SC-03-2001, apartado 5.1 “Plan de control de calidad”, inciso d.

La ausencia de control de calidad, según las especificaciones establecidas, no garantiza que se estén cumpliendo con los requisitos mínimos de compactación establecidos contractualmente en todos los tramos.

### **Programa de muestreo**

#### **Hallazgo N° 7: El programa de muestreo no incluye todos los tipos de ensayos que se realizan y materiales que se incorporan al proyecto.**

El programa de muestreo aleatorio incluido en el “Programa de control de calidad proyecto carretera Naranjo-Florencia, sección Sifón-Naranjo”, presentado por el Consultor de Calidad mediante el Informe N°299-2005 con fecha de 23 de setiembre de 2005, donde se indica que dicho programa corresponde al “aseguramiento que se realizaría a los materiales que se incorporarían al proyecto durante la construcción de la carretera”, es deficiente porque:

1. Considera únicamente criterios para el muestreo de mezcla asfáltica en vagoneta.
2. Excluye criterios de muestreo aleatorio (sitio donde se toma la muestra o ubicación donde se realiza un ensayo) para las otras actividades que se realizan en esta etapa del proyecto tales como excavación, relleno, terraplenado, colada de concreto, entre otras, para las cuales se definen ensayos de control de calidad en el programa de trabajo, algunos se listan a continuación:
  - Aceptación de fuente
  - Determinación de espesores
  - Contenido de humedad
  - Próctor normal
  - Granulometría
  - Límites de Atterberg
  - CBR
  - Densidad y humedad en sitio
  - Ensayos al hormigón
3. No se basa en la teoría de probabilidad ni aplica un procedimiento objetivo haciendo uso de tablas de números aleatorios, que permita que cada parte del lote tenga oportunidad de ser seleccionada.
4. No indica la norma de ensayo o el procedimiento de referencia que se utilizará para realizar la toma de la muestra que será ensayada (muestreo),

en la Tabla 6 se citan a manera de ejemplo de normativa internacional aplicable para el muestreo de materiales, alguna de estas normas se incluyen dentro de las especificaciones nacionales.

**Tabla 6. Algunas normas aplicables a muestreo de materiales**

Procedimiento	ASTM	AASHTO
Muestreo aleatorio de materiales	D-3665	-
Muestreo de agregados <sup>a</sup>	D-75	T-2
Muestreo de concreto fresco <sup>a</sup>	C-172	T-141
Muestreo de mezcla bituminosa <sup>a</sup>	D-979	T-168
Aceptación de planes de muestreo para construcción de carreteras	-	R-09
Probabilidad de muestreo de materiales	E -105	-

<sup>a</sup> Estas normas se incluyen en el CR-77 y el MC-83.

**Fundamento Normativo:** Disposición vial SC-03-2001, apartado 5.1 “Plan de calidad”, inciso d

El no realizar el proceso de toma de muestra o la ejecución de un ensayo en sitio de manera que se garantice la aleatoriedad, altera el objetivo fundamental exigido por la normativa técnica internacional aplicable, el cual consiste en que toda sección de obra tenga la misma probabilidad de ser seleccionada en cualquier momento y lugar, para asegurar la representatividad y la validez estadística de la muestra y por tanto de los resultados que se obtienen del proceso de control de calidad mismo material.

El muestreo aleatorio tiene como finalidad garantizar la representatividad del material a ser analizado, de manera que todo el material a ser utilizado en un proyecto tenga igual probabilidad de ser seleccionado. Es por ello que un programa de muestreo se basa en una metodología que permita seleccionar una secuencia de números aleatorios, que definirán el lote, el punto, el instante de la ejecución del muestreo, entre otros aspectos.

### **Programa de control metrológico de los equipos**

**Hallazgo N° 8: El programa de calibración de equipos de laboratorio no incluye toda la información requerida por la normativa nacional vigente.**

El programa de calibración de equipos presentado por parte del Consultor de Calidad, Ing. Oscar Julio Méndez Soto mediante informe N°:299-2005, es omiso en indicar información relevante para la identificación única y posterior control de las actividades metrológicas (calibración, comprobación intermedia,

caracterización, entre otros) efectuadas a los equipos de medición y ensayo. Dicho documento no especifica para cada uno de los equipos: el nombre, identificación particular, número de serie, marca, componentes, entre otra información fundamenta para la identificación de los mismos.

**Fundamento Normativo:** Disposición vial SC-03-2001, apartado 5.1 “Plan de control de calidad”, incisos c.

Incluir en el programa de calibración la identificación única de los equipos de medición y ensayo, permite individualizar las actividades de control metrológico a realizar para cada uno de los equipos y llevar un control eficiente sobre los procesos de revisión o calibración, según aplique. Además, esto permite relacionar exactamente los certificados y registros de calibración y/o revisión con los respectivos equipos sin equivocación o confusión alguna.

**Hallazgo N° 9: El programa de calibración de equipos de laboratorio no incluye todos los equipos de medición y/o ensayo que se utilizan en las actividades de control de calidad.**

El programa de calibración de equipos, no considera todos los equipos de medición y/o ensayo del laboratorio involucrados en los ensayos de control de calidad de las actividades de terraplenado y colada de estructuras de concreto, que se llevan a cabo durante esta etapa del proyecto. El programa establece actividades de control metrológico (calibración, comprobación intermedia, caracterización, entre otros) esencialmente para equipos utilizados en ensayos de mezcla asfáltica, y no incluye equipos que son utilizados en control de calidad de suelos, compactación de rellenos, agregados para la producción de concreto y colada de concreto, entre otros, de manera que garantice y asegure la validez técnica de las mediciones realizadas con estos equipos. Como ejemplo de lo señalado anteriormente se indican en la Tabla 7 algunos casos detectados por esta auditoría.

**Tabla 7. Algunos equipos utilizados en las actividades de control de calidad que no están incluidos dentro del Plan de Calibración**

<b>Equipo</b>	<b>Ensayos</b>
Densímetro nuclear	Compactación de rellenos
Moldes Próctor	Ensayos suelos y agregados
Moldes CBR	Ensayos suelos y agregados
Celdas de carga	Ensayos generales
Moldes para cilindros de concretos	Ensayos concreto
Tamices para granulometría	Ensayos suelos y agregados

**Fundamento Normativo:** Disposición vial SC-03-2001, apartado 5.1 “Plan de control de calidad”, inciso b.

La finalidad principal de un programa de revisión y calibración de equipos es garantizar y mantener bajo control metrológico los equipos de medición y/o ensayo como parte de las operaciones rutinarias del laboratorio. El no incluir todos los equipos de medición y/o ensayo puede afectar la confiabilidad de los resultados de control de calidad.

### **Registro de las actividades del control de calidad**

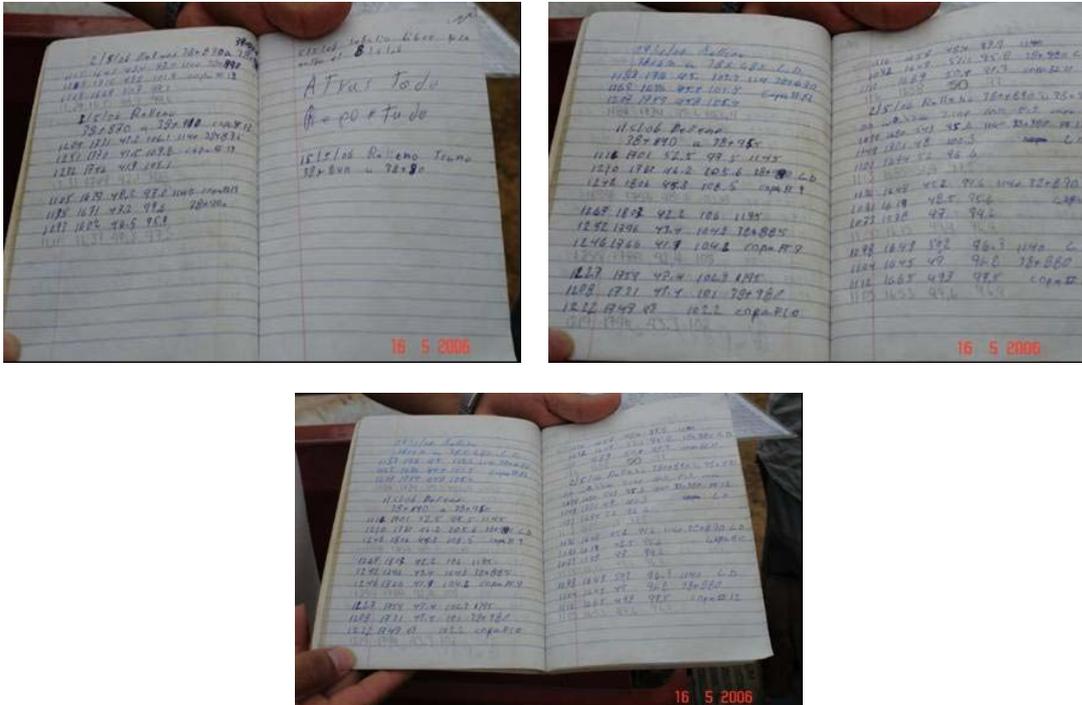
**Hallazgo N° 10: No se utilizan bitácoras foliadas para el registro de la información relativa al ensayo y/o toma de muestras en sitio.**

Durante las diferentes visitas realizadas a los frentes de trabajo activos en el proyecto, el equipo auditor pudo observar que no se mantienen bitácoras foliadas para el registro de los ensayos y/o de la información básica relativa al muestreo y ensayos de campo. Se observó que los técnicos del laboratorio anotan la información en cuadernos de uso ordinario (sin numeración o folios), como único medio para registrar la toma de muestras, resultados de ensayo, entre otros, tal y como se muestra en la Fotografía 1.

**Fundamento Normativo:** Disposición vial SC-02-2001, apartado 4.3.1

Según las buenas prácticas de laboratorio el registro oportuno, veraz y completo de los resultados que se obtienen de los ensayos, en bitácoras foliadas o registros numerados, se debe realizar al momento de generarse. Esto permite garantizar la trazabilidad de la información, para asegurar así su validez técnica, de modo que no permita cuestionar la rigurosidad del registro de información relevante del proceso de control de calidad y de esta manera reducir una potencial pérdida o alteración de la información relevante del proceso de ensayo, o confusión que pueda afectar la confiabilidad de los datos que respaldan la calidad de la obra.

El uso de documentos sin numeración no garantiza la integridad en el registro de los resultados de ensayo. Además, según lo establecido en las especificaciones nacionales, el no contar con una bitácora foliada para el registro de los resultados de ensayo, invalida los ensayos que se reportan para respaldar el pago de la obra.



**Fotografía 1. Registro de resultados de control de compactación en sitio de los trabajos realizados en La Abundancia de la estación 38+190 a la estación 38+955**

#### 4.1.3 Procesos de control de calidad

**Hallazgo N° 11: El método para control de compactaciones no se apega adecuadamente al procedimiento descrito en la norma de ensayo AASHTO T-272 “Método de familia de curvas”.**

El método aplicado como herramienta para controlar la calidad de la compactación de los rellenos en campo, norma de ensayo AASHTO T-272 “Método de familia de curvas – Determinación de un punto” (se presenta una breve explicación del método en el anexo 1), no se realiza de conformidad con lo que se establece en dicha norma de ensayo, entre otras razones, por lo siguiente:

1. No se utiliza la norma de ensayo AASHTO T-99 “Relación Densidad-Humedad de suelos usando el mazo de 2,5 kg con una caída de 305 mm”, para establecer el punto inicial y de esta manera aplicar correctamente el “Método de familia de curvas”, para definir los valores de humedad óptima y densidad máxima que el proceso de compactación debe alcanzar.

2. De acuerdo con el análisis realizado por el equipo auditor, se determinó que una de las familias de curvas elaboradas para este proyecto no refleja que los suelos tengan un origen geológico similar, tal como se define en esta norma de ensayo, debido a que las formas de las curvas que componen la gráfica de la “familia de curvas”, muestran diferentes amplitudes en sus curvaturas, cuando deberían ser relativamente similares. (Ver anexo 2)
3. Después del proceso de compactación, se realizan mediciones en campo de la humedad y densidad mediante el método de densimetría nuclear. De los resultados arrojados por el densímetro, se considera únicamente el valor de la humedad del suelo y se supone que este dato corresponde a la “humedad óptima”. Con este valor de humedad leído por el densímetro nuclear, se ingresa a la familia de curvas para determinar el punto correspondiente de densidad, de acuerdo con la línea de tendencia de las máximas densidades. Se está omitiendo el hecho de que la humedad leída por el equipo no corresponde necesariamente a la humedad óptima y se está usando como referencia para definir si hay que hacer ajustes de energía de compactación para obtener el porcentaje de compactación establecido. (Ver anexo 1)

**Fundamento Normativo:** Normas de ensayo AASHTO T- 99 y 272 y el apartado 203.12 del CR -77.

Las omisiones o variaciones que se realicen a un método de ensayo, sin cuantificar la magnitud de la afectación que éstas puedan tener en los resultados del ensayo, perjudican la exactitud del método. Por consiguiente, las variaciones y omisiones que se han hecho al “Método de familia de curvas” comprometen la calidad del proceso de compactación y pone en duda si se está alcanzando, efectivamente, la relación de humedad óptima-máxima densidad para el proceso de compactación de rellenos. Esta situación posibilita que se estén aceptando trabajos que no cumplen con los requisitos de aceptación establecidos contractualmente para este proyecto.

Cabe aclarar que esta auditoría no pretende ni tiene como intención establecer interpretaciones de las normas de ensayo. Los procedimientos de ensayo descritos en las normas son claros y concisos, procurando no dejar pasos del ensayo a interpretación del usuario.

**Hallazgo N° 12: La metodología aplicada para el control de compactación de los rellenos mediante el uso de equipos nucleares no es confiable debido a que no se aplica según se establece en la norma de ensayo.**

En el proyecto se utiliza como herramienta principal, para el control de compactación de los rellenos, la técnica de medición de densidad y humedad mediante densimetría nuclear.

Es criterio de esta auditoría que el uso predominante de esta técnica no garantiza la calidad de la compactación de los rellenos, entre otras razones, por:

1. No se encontró evidencia documental que demuestre que se registre la información de la inicialización del equipo con el patrón de referencia, previo a las mediciones en campo, que permita establecer si el equipo está en las condiciones de operación normal.
2. No se encuentra evidencia documental que demuestre que se realicen comprobaciones con otros métodos de control de compactación para confirmar que el densímetro nuclear emite resultados confiables. La norma de ensayo AASHTO T-310 "Método estándar para medir densidad y contenido de humedad sitio del suelo y agregados usando métodos nucleares", en el apartado 4 indica que las mediciones obtenidas mediante métodos nucleares presentan variabilidad en los resultados debido a que se afectan por diversas características de los suelos, entre otros la composición química, el tamaño de las partículas, el porcentaje de vacíos y la falta de homogeneidad.

**Fundamento Normativo:** Normas de ensayo AASHTO T- 310 y el apartado 203.12 del CR -77.

El utilizar este método de medición como única herramienta de control de compactación, sin cumplir todo lo establecido en la norma de ensayo compromete la confiabilidad y la consistencia de las mediciones realizadas con el equipo nuclear. Además, la ausencia de comparaciones periódicas del desempeño del equipo nuclear con métodos convencionales, compromete controlar efectivamente el cumplimiento de los parámetros definidos en las especificaciones nacionales para la aceptación y rechazo de los rellenos que se realizan en este proyecto.

## 4.2. OBSERVACIONES

**Observación 1:** El programa de calibración de equipos únicamente considera actividades de calibración y no se incluyen actividades de mantenimiento preventivo, ni de comprobación intermedia que permitan asegurar el buen funcionamiento y operación continua de los equipos de medición y ensayos que participan en las actividades de control de calidad de las obras que se realizan como parte de este proyecto.

**Observación 2:** El personal de laboratorio y los recursos asignados para atender las actividades de control de calidad no son suficientes para brindar una cobertura completa de los diferentes frentes de trabajo, de acuerdo con las especificaciones nacionales. El día 2 de mayo de 2006, durante la visita realizada por esta Auditoría habían activos cuatro frentes de obra activos (Sifón, Bastión #2 puente Barranca, kilómetro 16+500 y la Abundancia) y el laboratorio cuneta con sólo dos técnicos asignados. Es de trascendental importancia que los recursos humanos y técnicos sean suficientes para garantizar un control oportuno y eficaz y que ejerza su función de velar por la calidad de los materiales que son incorporados y de los procesos que se utilizan en la construcción de la obra.

**Observación 3:** Las gráficas desarrolladas para la aplicación del método de familia de curvas en este proyecto, no son representativas para la longitud y tipos de suelos que se pueden presentar en los frentes de trabajo principales. En el frente de trabajo de Sifón-El Espino se generaron 12 curvas para cubrir 6770 m y 8 curvas para cubrir los 5130 m que corresponden al frente de trabajo Río Ron Ron-La Abundancia. La investigación realizada por esta Auditoría encontró que la cantidad de muestreos necesarios para clasificar y desarrollar la familia de curvas es mayor a la que se realizó en este proyecto; como ejemplo se puede citar el caso de un proyecto desarrollado en Estados Unidos, en el cual se tomaron 331 muestras para realizar la clasificación de suelos en un tramo de 7 km (Rico y Del Castillo "La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, carreteras, ferrocarriles y aeropistas", Volumen 2, 1998).

**Observación 4:** No se indica la norma de ensayo o el procedimiento que será aplicado para todos los ensayos propuestos en el programa de control de calidad. Esta situación no garantiza que el personal de laboratorio esté aplicando un criterio unificado durante la realización del ensayo y esto impide que la ejecución se apege a los procedimientos normalizados.

**Observación 5:** Debido a que las muestras se trasladan desde el proyecto hasta el laboratorio central para ser ensayadas, es imprescindible que se implemente un adecuado control de identificación, embalaje, traslado, seguridad, integridad y

responsabilidades, con el propósito de disminuir el riesgo sobre la calidad y validez técnica de los resultados que se obtienen y que son el sustento para el proceso de aceptación, rechazo y pago de las obras realizadas por el contratista.

## 5. CONCLUSIONES

Después de realizar el análisis de las evidencias y documentos relacionados con el funcionamiento del laboratorio de control de la calidad del proyecto de "Construcción de la nueva carretera a San Carlos: sección Sifón-La Abundancia", se concluye lo siguiente:

1. El laboratorio de campo no tiene instalaciones físicas habilitadas en sitio de la obra para brindar un control de calidad expedito y oportuno a toda la obra conforme al contrato.
2. Los documentos que conforman el Plan de Calidad (programa trabajo para el control de calidad, programa de muestreo y programa de calibración) carecen de información elemental y relevante para asegurar la calidad de la obra, la representatividad y la confiabilidad de los muestreos y los resultados de ensayo.
3. Las actividades de control de compactación realizadas en la etapa actual del proyecto, no se apegan a lo establecido en el Programa de Control de Calidad propuesto por el consultor de calidad.
4. No se realizaron los ensayos para la caracterización de los suelos, tal y como se propone en el programa de control de calidad y como se establece en las especificaciones nacionales.
5. El proyecto carece de un programa de muestreo aleatorio para el control de la calidad de las actividades de terraplenado que sea representativo, completo y que se base en criterios aleatorios objetivos.
6. Los documentos donde se registra la información relevante del proceso de muestreo y ensayo en sitio de las actividades de control de calidad, no aseguran la confiabilidad, trazabilidad y la validez técnica, existiendo el riesgo de una potencial pérdida, alteración o confusión de datos y de los resultados que constituyen la base para la aceptación, rechazo y pago de los materiales incorporados y obras realizadas en el proyecto.
7. La desviación del procedimiento establecido en las normas de ensayo de referencia vigentes, para la verificación de la calidad de la compactación de los rellenos de la subrasante ("Método de familia de curvas" y densimetría nuclear), no garantiza obtener resultados certeros y confiables ni que se cumplan los valores de aceptación especificados contractualmente.

## 6. RECOMENDACIONES

De acuerdo con las evidencias y hallazgos incluidos en este informe, a continuación se listan recomendaciones que debe considerar el Consultor de Calidad para la mejora de las condiciones de operación del laboratorio y de los resultados que éste emite.

1. Habilitar las instalaciones de laboratorio en ambos frentes de trabajo, de manera que reúnan los requerimientos que debe cumplir un laboratorio de ensayo de materiales en cuanto a instalaciones, equipos, personal, entre otros, para que satisfaga las necesidades del proceso de control de calidad y garantice la calidad de las obras que se ejecutan.
2. Completar el programa de trabajo para el control de calidad, el programa de muestreo y el programa de calibración de modo que se incorporen los elementos indicados en el presente informe.
3. Cumplir con las actividades establecidas en el Programa de de Control de Calidad propuesto por el consultor de calidad, de manera que se determine el cumplimiento de la calidad contractualmente establecida, de todos los materiales y obras realizadas en el proyecto.
4. Ampliar el programa de muestreo de forma que se incluyan todos los materiales y procesos; basado en criterios aleatorios para asegurar la representatividad y la validez estadística de los análisis que se efectúan como parte del proceso de control de calidad de la obra.
5. Implementar procedimientos para el registro de las actividades que soportan el proceso de control de calidad en campo, que aseguren la confiabilidad, trazabilidad y la validez técnica de los resultados de ensayo.
6. Analizar y replantear, de manera inmediata, los procedimientos de control de compactación, de modo que se apliquen estrictamente como se especifican en las normas de ensayo de referencia para este proyecto.

---

---

Firmas del Equipo Auditor

\_\_\_\_\_  
Ing. Víctor Cervantes Calvo

\_\_\_\_\_  
Ing. Ellen Rodríguez Castro

\_\_\_\_\_  
Ing. Jenny Chaverri Jiménez, MScE  
Coordinadora Auditoría Técnica

---

---

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**“Método de Familia de Curvas - Determinación de un Punto”**  
**AASHTO T- 272**

## **Consideraciones generales para la correcta aplicación de la norma de ensayo AASTHO T272 “Método de familia de curvas – Determinación de un punto”.**

El apartado 203.12 del CR 77 indica que en cada proyecto puede usarse el método de control de humedad y densidad (Familia de curvas), como parámetro comparativo para calcular el porcentaje de compactación requerido, al agrupar las relaciones de humedad-densidad de todos los suelos pertenecientes y utilizados en el proyecto, obtenidas mediante la norma de ensayo AASTHO T99. La normativa de ensayo AASTHO T272 “Método de familia de curvas – Determinación de un punto” es la herramienta de referencia en campo que agrupa estas relaciones humedad densidad e indica el procedimiento a seguir para una correcta aplicación del método, en el cual se deben tener presente las siguientes consideraciones:

1. La familia de curvas está compuesta por un grupo de suelos que poseen un origen geológico similar, que determinan relaciones de humedad-densidad que reflejan ciertas similitudes y tendencias, específicas del tipo y origen de los suelos. Estos suelos determinan diferentes curvas de humedad-densidad, las cuales si se dibujan juntas evidencian una relación usualmente aparente, tal como se puede observar en la figura 1.
2. Antes de hacer uso de la familia de curvas se debe ensayar inicialmente una muestra del suelo obtenida del frente que va a ser controlado antes de efectuar las labores de compactación en campo, aplicando la norma de ensayo AASTHO T99, con el fin de definir el punto inicial y poder determinar mediante la familia de curvas la humedad óptima y la máxima densidad que el proceso de compactación debe alcanzar.
3. Una vez determinada la relación inicial existente de humedad-densidad en el suelo, se hace uso de la grafica de familia de curvas para establecer la curva de humedad-densidad que contiene el punto determinado, y de esta manera obtener el punto de humedad óptima y máxima densidad para el suelo ensayado.
4. Al ubicar el punto definido anteriormente en la grafica de familia de curvas, si está sobre una de las curvas dibujadas, la humedad óptima y máxima densidad es la definida por la intersección de esta curva con la línea de tendencia de las máximas densidades.
5. En caso contrario, se debe trazar una hipotética curva que pase por el punto y sea paralela a las curvas existentes más cercanas, la humedad óptima y máxima densidad que se deben de considerar son las definidas por la intersección de esta nueva curva con la línea de tendencia de las máximas densidades.
6. Si el punto determinado no está dentro de un rango del 80 al 100 por ciento del rango de densidad máxima y humedad óptima, se debe compactar otro espécimen

ajustando el contenido de humedad al rango indicado, a fin de lograr ubicar el punto dentro del rango indicado.

7. Con el valor obtenido de acuerdo a este método, se hacen las comparaciones de las mediciones de densidad y humedad realizadas en campo (determinadas con los métodos usuales de verificación de densidad-humedad en campo: cono de arena, densimetría nuclear) para hacer los ajustes de humedad o de energía de compactación medidos en campo y lograr llevarlos a la humedad óptima requerida y obtener el porcentaje de compactación requerido para el tipo de suelo.

A modo de ejemplo se presenta en la figura 1, el procedimiento para determinar la máxima densidad y humedad óptima utilizando la grafica de familias de curvas.

- A. Se determina en el laboratorio el valor de un punto de la curva de relación de humedad-densidad. Este se considera el punto inicial (Densidad seca: 1871 kg/m<sup>3</sup> y humedad 11.2%).
- B. Este punto se ubica en la grafica de familia de curvas.
- C. Se traza una curva teórica de humedad-densidad, paralela a las curvas existentes, que pase por el punto marcado.
- D. La intersección de esta curva con la línea de tendencia de las máximas densidades define el punto de humedad óptima y máxima densidad para el suelo ensayado (Densidad seca: 1906 kg/m<sup>3</sup> y humedad 12.7%). Este valor es el que debe usarse para hacer el cálculo de porcentaje de compactación y servir de criterio para el chequeo del tramo de trabajo en particular.

En la tabla siguiente se muestra un análisis de sensibilidad que refleja la variación de la relación humedad óptima-máxima densidad requerida por el suelo, al utilizar el método como lo aplica el laboratorio de verificación comparado con la aplicación correcta según la norma AASHTO T-272

*Método aplicado por Laboratorio de Verificación Calidad*

<b>Humedad leída en campo:</b>	<b>12%</b>
<b>Densidad en línea de máxima densidad (kg/m<sup>3</sup>):</b>	<b>1933</b>

*Lecturas según Método Familia de Curvas*

Humedad Leída Densímetro	Densidad Leída Densímetro (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad optima requerida	% variación	Densidad optima requerida (kg/m <sup>3</sup> )	% variación
12%	1860	13%	<b>9,1</b>	1888	<b>2</b>
12%	1900	13%	<b>4,8</b>	1913	<b>1</b>
12%	1940	12%	<b>0,0</b>	1940	<b>0</b>
12%	1960	11%	<b>6,2</b>	1977	<b>2</b>
12%	1980	11%	<b>13,2</b>	2012	<b>4</b>

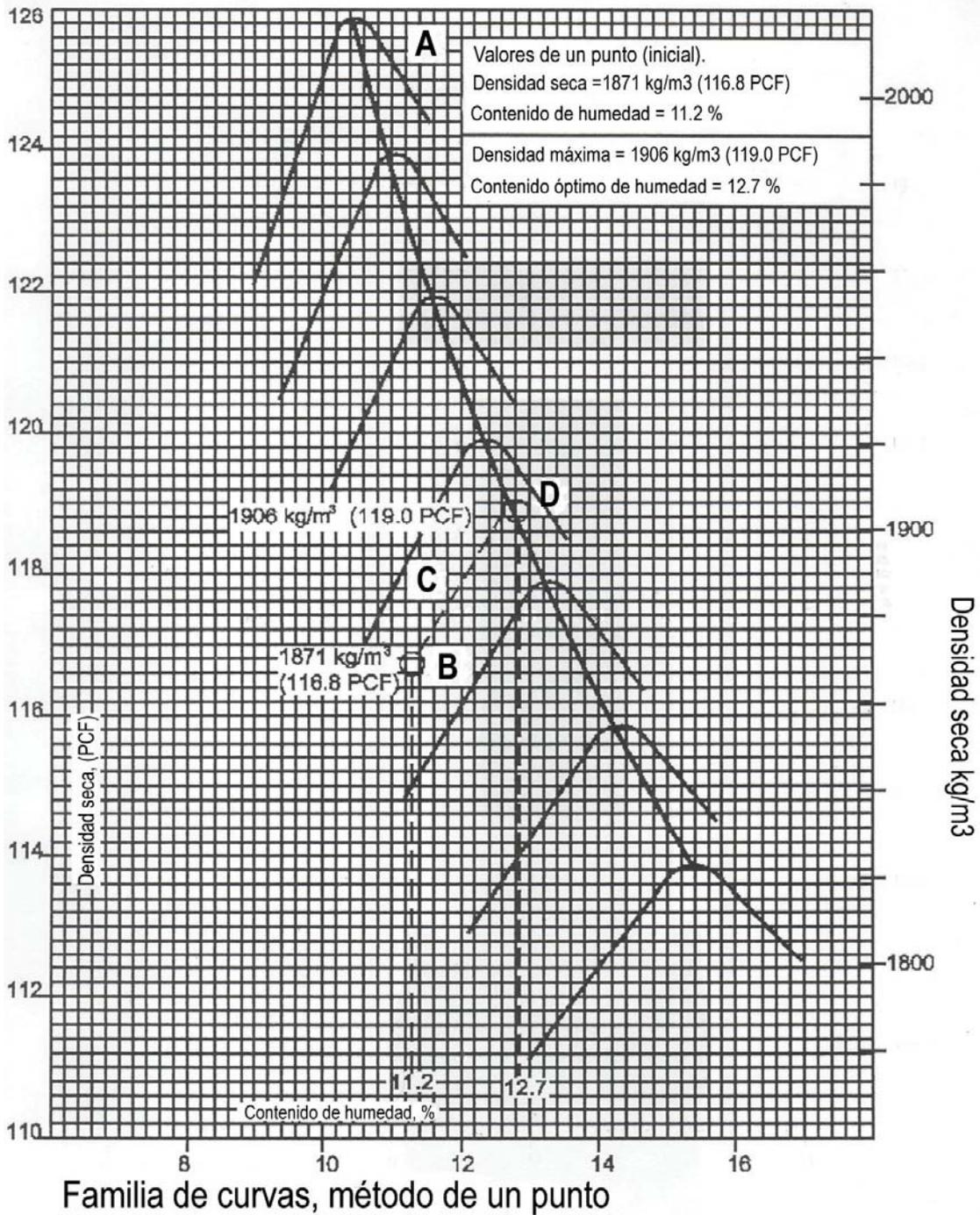


Figura 1. Ejemplo de relaciones humedad densidad y familia de curvas.

## **ANEXO 2**

### **Familia de Curvas utilizadas en el proyecto**

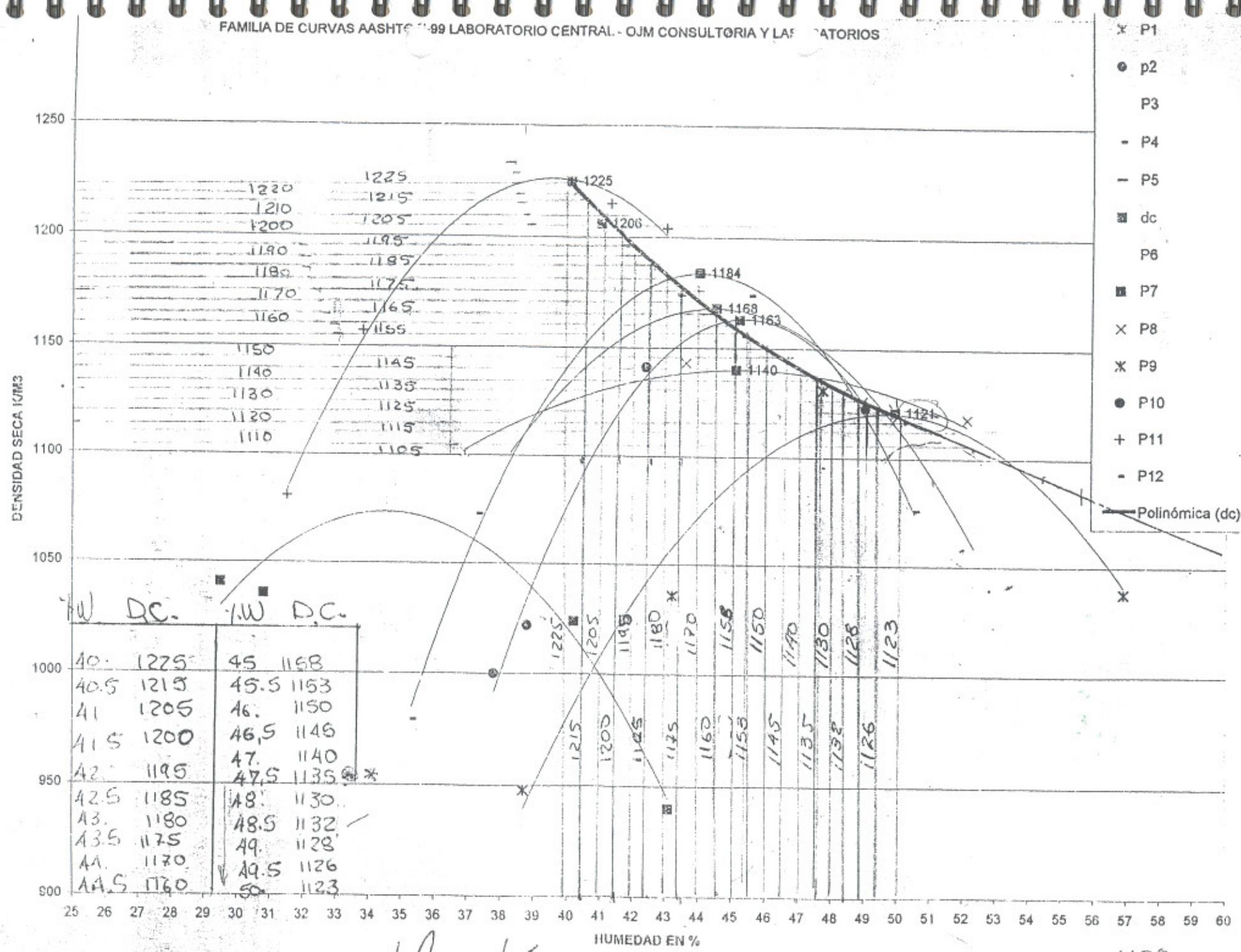
### **3.A FRENTE DE TRABAJO LA ABUNDANCIA**

Primera Figura: Gráfica de familia de curvas generadas con datos del MOPT y del laboratorio de Control de Calidad (ver Hallazgo N°11). Nótese la diferencia de concavidades en las curvas de humedad-densidad.

Segunda Figura: Gráfica de familia de curvas utilizada para el control en campo, solamente se dibuja la línea de tendencia de máximas densidades. Con esta gráfica y las lecturas de humedad realizadas con densímetro nuclear, se determina la humedad óptima y la máxima densidad.

### **3.B FRENTE DE TRABAJO SIFÓN**

Primera Figura: Copia entregada por el auditado de la gráfica de familia de curvas que se utiliza para el control de compactación en campo. (ver Hallazgo N°11). Nótese que la relación humedad-densidad del suelo se establece utilizando la humedad determinada con el densímetro y la línea de tendencia de máximas densidades.



- x P1
- o P2
- P3
- P4
- P5
- dc
- P6
- P7
- x P8
- x P9
- o P10
- + P11
- P12
- Polinómica (dc)

W D.C.		W D.C.	
40.	1225	45	1168
40.5	1215	45.5	1153
41	1205	46.	1150
41.5	1200	46,5	1146
42	1195	47.	1140
42.5	1185	47,5	1135
43.	1180	48.	1130
43.5	1175	48.5	1132
44.	1170	49.	1128
44.5	1160	49.5	1126
		50.	1123

Martin

FM=1128