

Desarrollo conceptual de un sistema integrado para el control de calidad en mediciones de resistencia al deslizamiento

Conceptual development of an integrated system for quality control of skid resistance measurements

Hernán de Solminihaç*, Marcelo Bustos**¹, Tomás Echaveguren***, Alondra Chamorro*, Sergio Vargas****

* Pontificia Universidad Católica de Chile. CHILE

** Universidad Nacional de San Juan. ARGENTINA

*** Universidad de Concepción. CHILE

**** Universidad del Bío Bío. CHILE

Contribución ICMPA 2011
Contribution ICMPA 2011
PAG. 75 - 92

Resumen

La seguridad es uno de los aspectos principales a considerar cuando se evalúa la calidad de servicio provista por un camino. Por lo tanto, la determinación precisa de la fricción superficial del pavimento adquiere suma importancia como parte de un plan de gestión de redes viales. Actualmente se emplean diversos equipos y procedimientos para medir la resistencia al deslizamiento en superficies de pavimento, tales como el Péndulo Británico, GripTester y SCRIM, entre otros. Con estos equipos se recopila información en terreno que se compara posteriormente respecto a valores umbrales que se consideran aceptables. Con el fin de asegurar una confiabilidad y nivel de calidad aceptables para esos resultados, se debe realizar un monitoreo constante a los procedimientos de medición, así como revisiones y calibración de los instrumentos. Este artículo propone una metodología general para el control de calidad en instrumentos y mediciones de resistencia al deslizamiento. Tal metodología ha sido diseñada usando listas de verificación y aplicando conceptos estadísticos de repetibilidad y reproducibilidad. La metodología fue aplicada para evaluar el nivel de calidad alcanzado por instrumentos y procedimientos de medición de resistencia al deslizamiento empleados en Chile, con buenos resultados. La calidad de los procedimientos de evaluación incluidos en dicha metodología también fue verificada, usando las técnicas de análisis estadísticos Seis-Sigma, lo que contribuyó significativamente a mejorar el sistema de control de calidad propuesto.

Palabras Clave: Control de calidad, mediciones de resistencia al deslizamiento, repetibilidad, reproducibilidad, dispositivos de la resistencia al deslizamiento.

Abstract

Safety is one of the main issues that must be considered when evaluating the quality of service provided by a road. Therefore, skid resistance measurement procedures are quite important components of a road management system. Currently, many equipments and procedures are used to measure skid resistance in pavement surfaces, like British Pendulum, GripTester, SCRIM, among others. Skid resistance data collected with such devices is afterwards processed and compared against minimum threshold values, predefined for the road management procedures. However, to ensure an acceptable reliability and quality level of such results, continuous monitoring of measurement procedures and also revision and calibration of devices must be performed. In this paper, a general methodology is proposed, to be used as a quality control system for devices and skid resistance measurements. Such methodology has been designed by using checklists, and applying statistical concepts of repeatability and reproducibility. The methodology was therefore applied to evaluate the quality level achieved by skid resistance devices and measurement procedures used in Chile, with good results. The quality of the evaluation procedures included in the methodology were also verified applying Six-Sigma statistical analysis techniques, which contributed significantly to improve the proposed quality control system.

Keywords: Quality control, skid resistance measurement, repeatability, reproducibility, skid resistance devices.

1. Introducción

La seguridad es uno de los aspectos más importantes en la calidad del servicio prestado a los usuarios que circulan sobre un camino pavimentado, y depende de muchas variables tales como el diseño geométrico, sección transversal y señalización del camino,

1. Introduction

¹ Autor de correspondencia / Corresponding author:
E-mail: mbustos@eicam.unsj.edu.ar



pero también es función de las condiciones de la superficie del camino, específicamente de la resistencia al deslizamiento y de la interacción neumático-pavimento.

La resistencia al deslizamiento (RD) es una propiedad funcional del pavimento que contribuye a mantener la estabilidad dinámica de los vehículos que transitan por curvas horizontales y a proveer una adecuada distancia de frenado. Por esta razón la RD es monitoreada periódicamente, empleando instrumentos de alto rendimiento tales como SCRIM o GripTester, entre otros. Estos instrumentos permiten obtener información sobre las condiciones de resistencia al deslizamiento en secciones pavimentadas de longitudes extensas.

El control de calidad de instrumentos y procedimientos utilizados para medir RD es muy importante, con el fin de asegurar un nivel aceptable de confiabilidad de los resultados obtenidos en terreno. Por ello es esencial asegurar que los instrumentos de mediciones y los procedimientos de recopilación, procesamiento y evaluación de datos alcancen niveles mínimos de calidad, de acuerdo a los estándares nacionales e internacionales.

El objetivo principal de este artículo es presentar y explicar brevemente los conceptos, contenidos y alcances de un sistema para control de calidad de RD en caminos. Primero se esboza una breve discusión de conceptos de repetibilidad y reproducibilidad, que son indicadores claves en el sistema de control. Luego se desarrolla una explicación general del sistema de acreditación propuesto. Finalmente se describen con mayor detalle los sistemas elaborados para certificar instrumentos y procedimientos de mediciones.

2. Principales conceptos sobre mediciones de calidad

El sistema de mediciones de calidad puede ser descrito mediante indicadores estadísticos de exactitud, precisión y estabilidad (Kenett y Zacks, 2000). El nivel de precisión puede ser estimado por índices de repetibilidad y reproducibilidad.

Repetibilidad constituye la capacidad de un procedimiento específico para obtener mediciones con un reducido nivel de dispersión. Un sistema de medición posee una buena repetibilidad si mediciones múltiples de una misma variable, en el mismo lugar, con el mismo instrumento y bajo las mismas condiciones, resultan estadísticamente equivalentes.

En cambio, la reproducibilidad está asociada a la varianza entre diferentes procedimientos que miden la misma variable. Un sistema de medición tiene una buena reproducibilidad si muchas medidas realizadas con diferentes instrumentos, en el mismo lugar y bajo las mismas condiciones, resultan estadísticamente equivalentes (Montgomery, 1991). El procedimiento para determinar ambos indicadores es conceptualmente similar, basado en las pruebas ANOVA (Análisis de Varianza), que están incorporados en la mayoría de los softwares estadísticos comerciales.

3. Sistema de control de calidad

En este artículo se describe la estructura de un Sistema de Control diseñado para verificar y certificar un aceptable nivel de calidad en las mediciones de resistencia al deslizamiento realizadas con Péndulo Británico y GripTester (Figura 1). Esta estructura está basada en el cálculo de índices estadísticos, como repetibilidad y reproducibilidad. Pero estos conceptos también son aplicados para verificar la calidad y pertinencia del proceso evaluativo en sí mismo, con el fin de alcanzar un mecanismo de evaluación coherente y homogéneo, que sea independiente de las características personales de los evaluadores involucrados en el proceso de acreditación de calidad.

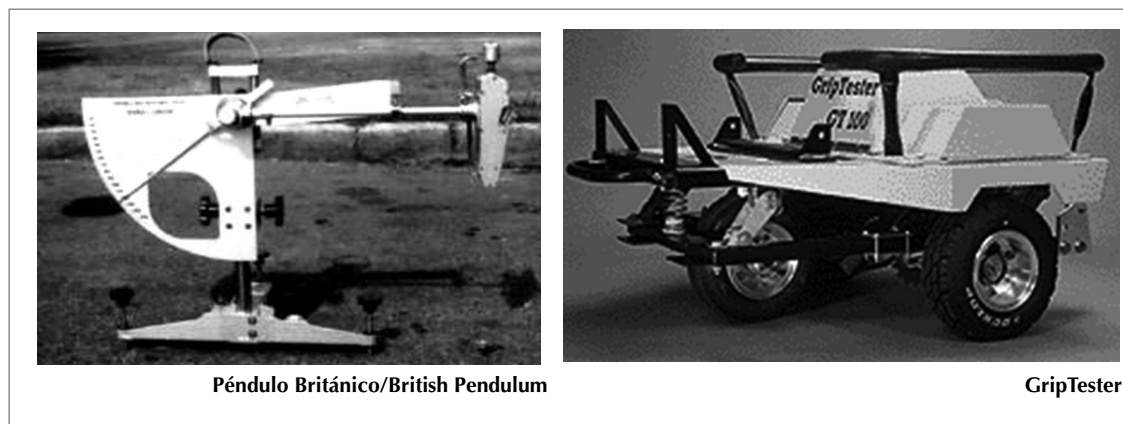


Figura 1. Instrumentos para la medición de resistencia al deslizamiento, considerados en los Sistemas de Acreditación propuestos
Figure 1. Skid resistance measurement devices considered in the proposed Certification Systems

Existe una necesidad particular que motiva el desarrollo de este tipo de sistemas en Latinoamérica. Los países de este continente emplean equipos para medir la resistencia al deslizamiento tales como los que muestra la Figura 1, que deben ser enviados periódicamente a las fábricas de origen (ubicadas en Europa, en la mayoría de los casos), para ser chequeados y re-calibrados. Esto implica un período muy prolongado hasta que los equipos regresan a Latinoamérica, como también ocurre para cualquier país ubicado lejos de las fábricas europeas. Las organizaciones propietarias de los equipos generalmente no tienen unidades adicionales para realizar mediciones mientras éstos se encuentran en Europa. Por esta razón, dichas organizaciones suelen postergar el envío de los equipos para re-calibración y chequeo mucho más tiempo que el recomendable, para ahorrarse demoras y costos asociados al envío. Estas postergaciones incorporan incertidumbre en el nivel de exactitud y calibración de los instrumentos de medición, y en la confiabilidad de los datos medidos por éstos. Por lo tanto, como alternativa, los Sistemas de Acreditación de Calidad intentan proveer un conjunto similar de procedimientos para el control de calidad del estado de calibración de los equipos y de las mediciones de RD obtenidas con los mismos, que permita evitar la necesidad periódica de enviarlos a sus fábricas de origen para su chequeo y calibración.

4. Sistema de acreditación para mediciones de resistencia al deslizamiento

El objetivo principal del Sistema de Acreditación para Mediciones de resistencia al deslizamiento (SAM) es definir una metodología simple y sencilla para evaluar y certificar la calidad de las mediciones de RD y de su posterior procesamiento. Además, el SAM tiene los siguientes objetivos secundarios:

- Definir los aspectos más importantes a ser verificados en cada etapa de la metodología, y los diferentes atributos o condiciones a cumplir en cada caso.
- Asignar diferentes niveles de ponderación a los aspectos y atributos, de acuerdo a su importancia relativa en los procedimientos de calidad.
- Elaborar criterios para evaluar y asignar calificaciones globales al nivel de calidad alcanzado por los procedimientos analizados.

- Aplicar los criterios designados para evaluar a los operadores y procedimientos, retroalimentando el mecanismo de evaluación.

Para una mejor comprensión se establecen las siguientes definiciones:

- **Procesos:** Procedimientos genéricos cuyas cualidades deben ser evaluadas, como por ejemplo mediciones de RD o calibración de los instrumentos.
- **Aspectos:** Correspondientes a diferentes etapas globales de los procesos. Por ejemplo preparación para las mediciones, medidas de protección de los elementos usados en terreno y chequeo de las condiciones de seguridad, son diferentes aspectos del proceso de medición.
- **Atributos:** Dentro de cada aspecto existe un número importante de atributos específicos que corresponden a condiciones que deben ser cumplidas. Los atributos pueden ser “críticos” o “no críticos”. Un atributo es crítico cuando su omisión o cumplimiento inadecuado afecta en forma significativa la calidad global del aspecto al cual pertenece, o cuando es esencial para verificar atributos subsecuentes.
- **Listas de verificación:** Son los listados de aspectos y atributos a ser evaluados en cada proceso, específicamente diseñado para verificar su respectivo nivel de calidad.
- **Operadores:** Personas que operan y emplean los instrumentos de mediciones de RD, y cuyas habilidades también son evaluadas como parte del proceso de acreditación.
- **Instrumentos:** Son los equipos de medición de SR que deben ser evaluados, en este caso específico Péndulo Británico y GripTester.
- **Evaluadores:** Personas que inspeccionan y califican la ejecución de los procesos aplicados por los operadores, y también certifican la calidad y calibración de los instrumentos.

4.1 Estructura General del Sistema de Acreditación de Mediciones

El SAM básicamente consiste en la aplicación de un conjunto de listas de verificación a cargo por de evaluadores independientes, para evaluar a los operadores de equipos y calidad alcanzada en las mediciones. La metodología está integrada por los siguientes pasos (Figura 2):

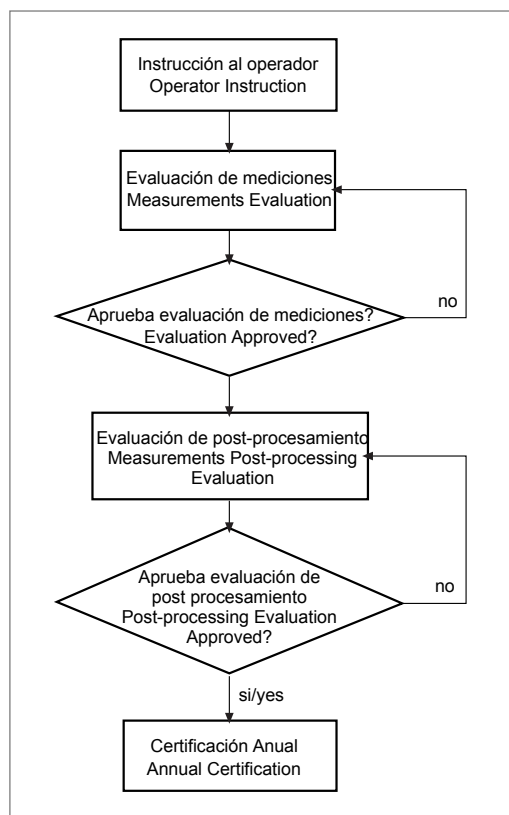


Figura 2. Estructura General del Sistema de Acreditación de Mediciones de RD

Figura 2. General structure of the SR Measurements Certification System

- a) Fase de instrucción del operador: se entrega al operador la normativa de medición vigente, y se lo pone al tanto de los diferentes lineamientos y criterios de evaluación.
- b) Fase de evaluación de mediciones: las pruebas de medición se desarrollan sobre tramos pavimentados previamente seleccionados. El evaluador debe posteriormente consignar, para cada uno de los atributos incorporados en las listas de chequeo, la calificación que a su criterio merece el operador, siguiendo las pautas establecidas en el Sistema.
- c) Fase de evaluación de post-procesamiento: a partir de los reportes de mediciones entregados por los operadores, el evaluador deberá calificar cada uno de los atributos y aspectos considerados en las correspondientes listas de chequeo.
- d) Fase de calificación global: siguiendo las pautas de cálculo establecidas para la evaluación, cada evaluador deberá entregar una calificación final sobre el grado de calidad alcanzado por el operador en el desarrollo de los procesos.
- e) Fase de acreditación: se otorgarán certificaciones a los procesos que hayan sido aprobados en las evaluaciones, alcanzando un nivel aceptable de calidad.

4.2 Listas de verificación para evaluar los procesos

La evaluación a los operadores se realiza a través de listas de verificación, que representan un conjunto de condiciones a ser cumplidas durante los procesos de mediciones. Se utilizan dos tipos principales de listas de verificación dentro del SAM.

Listas de verificaciones para procedimientos de mediciones

Tienen como objetivo evaluar si los operadores se ajustan tanto a la normativa de mediciones como a los procedimientos que establecen los fabricantes para el correcto uso del equipo. Para ello, cada lista consta de tres aspectos principales a evaluar:

- Aspecto 1: Ajuste y preparación de los instrumentos, antes de las mediciones.
- Aspecto 2: Ejecución de mediciones y recopilación de datos.
- Aspecto 3: Medidas de seguridad adoptadas durante los procedimientos de recopilación de datos.

Cada uno de estos aspectos está compuesto por atributos “críticos” y “no críticos”. Los atributos críticos tienen mayor ponderación que los no críticos, en relación a la calificación final. Además, cada aspecto posee diferente ponderación.

Listas de verificación para procesamiento de datos

Están destinadas a evaluar si el operador ejecuta correctamente la secuencia de pasos establecida por norma para procesar y depurar la información registrada en terreno, y finalmente determinar los indicadores representativos (valores medios y desviación estándar) que se deben presentar en los reportes. Se considera un único aspecto para dichas listas, integrado por una sucesión de atributos definidos de acuerdo a la normativa de medición correspondiente a cada equipo.

En la Figura 3 se presenta un ejemplo de listas de verificación desarrolladas para evaluar un cierto aspecto, describiendo el cálculo ponderado que se lleva a cabo para obtener la calificación global para dicho aspecto. Los atributos críticos están marcados en color gris, y sus respectivos coeficientes de ponderación valen el doble, comparados con los coeficientes asignados a atributos no críticos.

Para aprobar las evaluaciones y certificar los procesos de mediciones o procesamiento de datos, se deben cumplir las siguientes condiciones:



LISTA DE CHEQUEO Y EVALUACIÓN DE OPERADORES DE EQUIPO GRIP TESTER			
Acreditación de Mediciones de Fricción		Reporte N°: _____	
Página 1 / 3			
Empresa Evaluada: Consultora NNNN Operador Evaluado: Juan Pérez Evaluador: Juan Fernández		Fecha: 20 /03 /2006 Hora de Inicio y Fin: 09 :00 a 13 :00 Estado del Tiempo: Soleado	
Ruta Inspeccionada: A005 Sector: Santiago - Talca Km inicial: 10.000 Km final: 10.200 Pista N° 4 Huella: Externa N° de serie del aparato: 000001 Observaciones: _____			
		Croquis de Ubicación del Tramo Estado Pavimento (Foto): _____	
Aspecto 1: Preparación del equipo antes de las mediciones			
N°	Atributo a Evaluar	Nota Atributo	Coeficiente Atributo CA
1.1	Cargado del tanque de provisión de agua para mediciones y elementos de bombeo	7	0.03449
1.2	Chequeo de logística de provisión de agua según consumos estimados	6	0.03449
1.3	Cargado de estructuras de conexión entre equipo y vehículo de remolque	7	0.06896
1.4	Asegurar funcionamiento del sistema de alimentación para la computadora	7	0.03449
1.5	Llevar las baterías del equipo Grip Tester totalmente cargadas	7	0.06896
1.6	Verificación de estado del neumático de medición, según norma	6	0.06896
1.7	Verificación de la presión de inflado de los neumáticos del equipo	6	0.06896
1.8	Calibración del factor de distancia con odómetro para registro del kilometraje	6	0.06896
1.9	Llevar equipos de comunicación (walkietalkie) o sistema de radio	7	0.03449
1.10	Verificar limpieza y buen estado general de los equipos de medición	7	0.06896
1.11	Identificación, verificación y balizado del sector a medir	7	0.03449
1.12	Conexión del equipo de medición al vehículo de remolque	7	0.06896
1.13	Conexión de manguera de aprovisionamiento de agua	7	0.06896
1.14	Configuración de computadora siguiendo instrucciones del software	6	0.06896
1.15	Definición de la frecuencia de muestreo del equipo (entre 40, 160, 400 u 800 mm)	7	0.03449
1.16	Definición de la equidistancia de registro de datos (GripLength), entre 40mm y 10 m, de acuerdo a lo solicitado por el cliente, o según establezca la normativa	7	0.06896
1.17	Verificación de temperatura del agua entre 5 y 25 °C	6	0.03449
1.18	Verificación del funcionamiento correcto de la descarga de agua	7	0.06897
Nota Ponderada Aspecto 1: $\sum NA_i \times CA_i$			A1: 6.555

Figura 3. Ejemplo de aplicación de una lista de verificación, para evaluar un aspecto específico del proceso de mediciones usando el instrumento GripTester (de Solminihac et al., 2006)

CHECKLIST FOR OPERATOR EVALUATION GRIP TESTER DEVICE			
Skid Resistance Measurements Certification		Report N°: _____	
Page 1 of 3			
Organisation: _____ Evaluated Operator: _____ Evaluator: _____		Date: ____ / ____ / ____ Begin / End Time: ____ : ____ to ____ : ____ Weather Conditions: _____	
Inspected Road: _____ Section: _____ Inicial Km: _____ End Km: _____ Lane N° _____ Path: _____ Device Serial N°: _____ Observations: _____ _____	Section Location Graph	Photo Section: _____	
Aspect 1: Device preparation before measurements			
N°	Attribute to be evaluated	Qualific. Attribute	Coefficient Attribute
1.1	Water tank charging for water provision and pumping elements	7	0.03449
1.2	Check logistics for water provision according estimated water consumption	6	0.03449
1.3	Check connection structures between device and front vehicle	7	0.06896
1.4	Check functioning of electric feeding system and/or batteries for device computer	7	0.03449
1.5	Check Griptester batteries fully charged	7	0.06896
1.6	Verification of measurement tires condition, according to standards	6	0.06896
1.7	Verification of inflate pressures of device tires	6	0.06896
1.8	Calibration of distance factor of odometer, for distance registration	6	0.06896
1.9	Check communication equipment (walkie-talkie) or radio system	7	0.03449
1.10	Verification of cleanliness and good overall condition of the measurement devices	7	0.06896
1.11	Identification, verification and signalization of the section to be measured	7	0.03449
1.12	Connection of the measurement equipment to the front vehicle	7	0.06896
1.13	Connection of water providing hoses	7	0.06896
1.14	Computer configuration following software instructions	6	0.06896
1.15	Definition of sampling frequency of device (between 40, 160, 400 or 800 mm)	7	0.03449
1.16	Definition of data registration (GripLenght), between 40 mm and 10 m, according customer requirements, or according to standards	7	0.06896
1.17	Verification of water temperature between 5 y 25 °C	6	0.03449
1.18	Verification of correct functioning of water provision	7	0.06897
Weighted Qualification Aspect 1: $\sum NA_i \times CA_i$			A1: 6.555

Figure 3. Example of checklist application, to evaluate a specific aspect of measurement process using GripTester device (de Solminihac et al., 2006)



- Todos los atributos definidos como “críticos” deben tener una calificación igual o mayor que “aceptable”, dependiendo de la escala empleada para las calificaciones.
- Para cada aspecto, no debiera haber más de un atributo “no crítico”, con calificación menor que “aceptable”.
- La Calificación Final (CF) debe ser igual o mayor que “aceptable”.

Calidad de la verificación de los procedimientos de evaluación

La calidad global de la metodología de evaluación propuesta fue chequeada mediante pruebas en terreno desarrolladas con la colaboración del Laboratorio Nacional de Vialidad de Chile. En estas pruebas, diferentes evaluadores aplicaron las listas de verificación para calificar el desempeño mostrado por los operadores que midieron RD empleando los equipos Péndulo Británico y GripTester. Posteriormente, se ejecutaron las siguientes pruebas estadísticas a partir de los resultados de las evaluaciones:

- **Análisis de Medias:** Permite analizar las diferencias entre las calificaciones promedio asignadas por diferentes evaluadores a la ejecución de mediciones y post-procesamiento de datos.
- **Repetibilidad y Reproducibilidad:** Estas pruebas deben analizar las calificaciones globales y también cada aspecto, con el fin de verificar el nivel de independencia de las listas en relación a cada evaluador.
- **Análisis de Capacidad:** Permite evaluar la calidad del proceso en sí, analizando el nivel de dispersión de los resultados con respecto a umbrales de tolerancia predefinidos. El indicador es la “capacidad potencial” C_p del proceso, calculada considerando la desviación estándar del proceso.

Este tipo de pruebas corresponden a las técnicas Seis-Sigma (4), frecuentemente usadas para evaluar y mejorar la calidad de procesos industriales. Aplicando tales metodologías, y luego de varios ajustes a las listas de verificación, se alcanzaron las tolerancias predefinidas para cada indicador de calidad, para las listas de verificación de GripTester y Péndulo Británico.

El Análisis de Medias mostró escasa diferencia, inferior al 10% en todos los casos, para las listas de evaluación de ambos equipos.

La repetibilidad normalizada obtenida para mediciones realizadas con el GripTester fue de 0.06 y la correspondiente reproducibilidad normalizada calculada fue de 0.02; en ambos casos por debajo de 0.07 que era el umbral máximo aceptable. Resultados similares fueron alcanzados para el Péndulo Británico.

El análisis de capacidad mostró un valor C_p entre 0.54 y 0.64 para el Péndulo Británico, dependiendo del operador evaluado; por otro lado, se obtuvo $C_p = 1.35$ para el GripTester. Valores que resultaron, en todos los casos, superiores al valor mínimo predefinido para $C_p = 0.45$. Los resultados finales de las evaluaciones de las listas de verificación para la medición y procesamiento de datos muestran que han sido bien diseñadas y son altamente independientes de los evaluadores individuales.

5. Sistema de acreditación para equipos

Siguiendo una estructura similar, se diseñó asimismo un Sistema de Acreditación de Equipos (SAE). Este sistema también aplica listas de verificación para certificar el nivel de calibración de los equipos o instrumentos de medición, con el fin de asegurar que éstos se encuentren adecuadamente ajustados y preparados, según las recomendaciones especificadas por el fabricante. Los usuarios potenciales de este sistema serían aquellas organizaciones interesadas en certificar el funcionamiento apropiado de sus instrumentos para medición de RD, tales como consultores en gestión de carreteras, instituciones académicas y laboratorios viales estatales o privados.

Las listas de verificación diseñadas para este sistema también se basan en la ponderación de aspectos y atributos que deben ser evaluados por expertos, quienes analizan y califican cada atributo para finalmente calcular una calificación global que indique el nivel de calidad alcanzado por el instrumento.

5.1 Evaluación de la metodología para el SAE

El diagrama global para el completo proceso de evaluación se muestra en la Figura 4, integrado por las siguientes fases:

- a) Fase instrucción al operador: Los operadores necesitan saber qué es el SAE y cómo se realizan las evaluaciones. Sólo aquellos operadores previamente certificados por el Sistema de Acreditación de Mediciones pueden manipular instrumentos que deben ser evaluados dentro del SAE.
- b) Fase evaluación de procedimientos de calibración: los evaluadores deberán verificar que los operadores ejecuten correctamente las tareas relacionadas con la calibración de los equipos.



- c) Fase evaluación de precisión y exactitud: Una vez que las mediciones de RD han sido desarrolladas, como se indica en la metodología SAE, los evaluadores deberían verificar que se cumplan los requerimientos de repetibilidad y reproducibilidad (R&R), así como de exactitud. Para la evaluación de exactitud, se debe definir previamente un instrumento de control o “equipo patrón”, respecto al cual se deben comparar las mediciones efectuadas por otros instrumentos. Una buena opción es adoptar como “Patrón” o referencia a equipos que sean propiedad de la entidad estatal a cargo de la administración de la red vial, para asegurar un referente reconocido por todos los demás usuarios del SAE.
- d) Fase de acreditación: Los equipos aprobados por los evaluadores deberán recibir certificaciones que acrediten que han alcanzado un nivel de calidad aceptable, en relación a procedimientos de calibración, precisión (R&R) y exactitud.

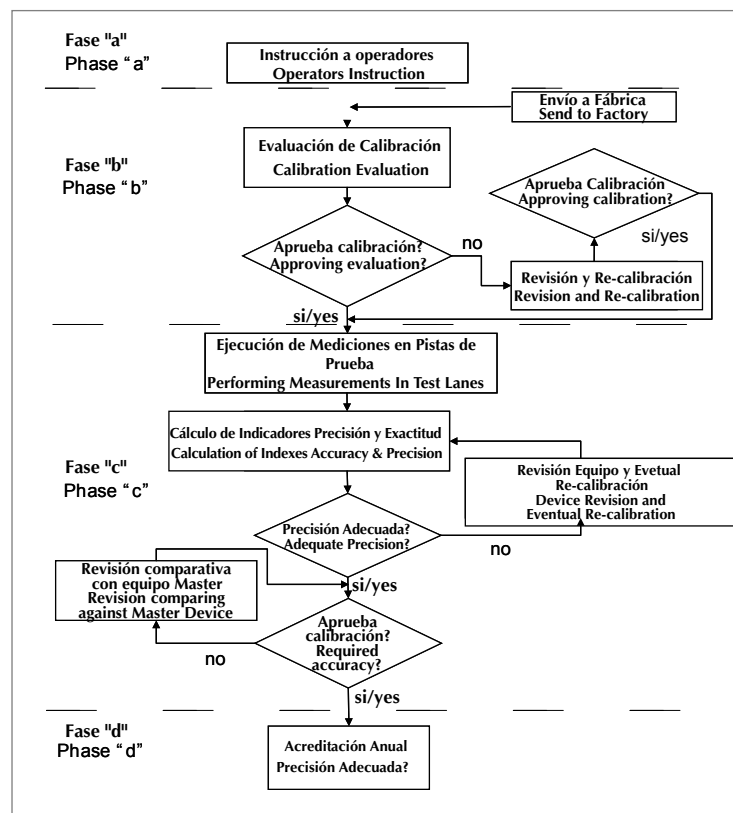


Figure 4. Estructura global del Sistema de Acreditación de Equipos (SAE) propuesto

Figure 4. Global structure of the proposed Devices Certification System DCS

5.2 Evaluación de requerimientos usando listas de verificación

Se han construido tres tipos principales de listas de verificación para el SAE:

- Listas de verificación para chequear los requerimientos predefinidos para las pistas de pruebas.
- Listas de verificación para chequear la aplicación de procedimientos de calibración del instrumento.
- Listas de verificación para chequear la exactitud y precisión alcanzadas.

Requerimientos para pistas de pruebas

Para evaluaciones dentro del SAE, se deben hacer mediciones de RD en pistas de pruebas pavimentadas, que pueden ser específicamente construidas, o bien pistas de caminos existentes. Las pistas seleccionadas para el SAE deben cumplir con una serie de requisitos en relación a las características geométricas, longitud mínima, condiciones de la superficie del pavimento, tal como sigue:

- Alineamiento recto, sin curvas horizontales.
- Pendiente longitudinal tan baja como sea posible, y siempre inferior al 4%.
- Si se consideran caminos existentes, el promedio diario de tránsito (AADT) debe ser menor a 100 veh/día, y también menor a 30% de camiones pesados.
- Visibilidad suficiente y buenas condiciones de seguridad.
- Deterioro muy bajo de la superficie, para no afectar la calidad de las mediciones.

Las definiciones detalladas de estos requisitos se presentan en las correspondientes listas de verificación.

Listas de Verificación para la Calibración del Péndulo Británico

Las listas de verificación diseñadas para evaluar este tipo de instrumentos consideran tres aspectos principales:

- Aspecto 1: Verificación mecánica de todas las partes del instrumento y su completo funcionamiento.
- Aspecto 2: Procedimientos de calibración.
- Aspecto 3: Chequeo de repetibilidad para mediciones de referencia.

El primer aspecto considera atributos asociados con chequeos de funcionamiento, estado general e integridad para las distintas partes que componen un Péndulo Británico, tales como tornillos, puntero, zapata de goma, etc. En el segundo aspecto, se incorpora la verificación de atributos directamente relacionados con la calibración (alineamientos, pesos, tensión de resortes, etc.). Finalmente, a través del tercer aspecto se verifica que se alcancen los valores mínimos aceptables de repetibilidad puntual, teniendo en cuenta que se ha establecido que el máximo valor aceptable de desviación estándar de los valores registrados en un mismo punto deben ser iguales a 0.89 BPN, para una muestra de 5 mediciones.

Listas de verificación para Calibración del GripTester

En este caso la correspondiente lista de verificación, también evalúa tres aspectos principales:

- **Aspecto 1:** Procedimientos de chequeo y verificación rápida que se ejecutan previo a la ejecución de la calibración, pero que también suelen efectuarse antes de un procedimiento rutinario de mediciones, verificando el movimiento de sistemas, alineación, sistema de transmisión, neumáticos, y suspensión.
- **Aspecto 2:** Procesos de chequeo y ajuste del funcionamiento de diferentes partes del equipo, cuya verificación podrá hacerse con una periodicidad preferentemente anual.
- **Aspecto 3:** Procedimientos principales de calibración (carga vertical, carga horizontal, distancia por revolución DPR, etc.).

Listas de verificación para evaluar mediciones de precisión y exactitud con el GripTester

Una vez más, los tres principales aspectos a ser cumplidos por el conjunto de mediciones obtenidas con el GripTester, deben ser evaluados.

- **Prueba de Repetibilidad:** Compara dos conjuntos de mediciones RD obtenidas en pasadas subsecuentes por la misma pista de prueba, con el mismo instrumento GripTester. El índice de repetibilidad es calculado usando las pruebas estadísticas ANOVA para ambos conjuntos de datos. Dicho índice es dividido por el valor promedio más bajo de ambos conjuntos de mediciones y el resultado es la repetibilidad estandarizada o normalizada, la cual debe estar bajo las tolerancias especificadas. En el sistema propuesto, el valor máximo aceptable de repetibilidad estandarizada es 0,15, para comparar dos pasadas consecutivas.

- **Prueba de Reproducibilidad:** Se aplican las mismas pruebas para dos conjuntos de mediciones desarrolladas en la misma pista, pero con dos GripTester distintos. El valor límite sugerido en este caso para reproducibilidad estandarizada es 0,08, según los estándares británicos BS7941-2:2000, adoptados como referencia en este caso (BSI, 2000).
- **Prueba de Exactitud:** se comparan los conjuntos de mediciones obtenidos en una misma pista por el equipo Patrón y por el equipo que se desea acreditar a través de la comparación de medias (ANOM de un factor), utilizando los mismos datos analizados para verificar repetibilidad y calculando intervalos de confianza para la diferencia de medias entre las mediciones realizadas con ambos equipos (Escalante, 2004). Si dentro del intervalo de confianza (IC) de la diferencia de medias queda incluido el valor cero, entonces estadísticamente las medias son equivalentes, y por lo tanto el equipo que se desea acreditar alcanza un nivel de exactitud aceptable, equivalente al del equipo Patrón.

5.3 Condiciones para los procedimientos de acreditación

Tal como se estableció en el Sistema de Acreditación de Mediciones SAM, las certificaciones se otorgan a los equipos sólo si se cumplen todos los requisitos estipulados, después de las correspondientes evaluaciones. Se deben cumplir las mismas condiciones:

- Todos los atributos críticos deben ser calificados, al menos, como “aceptables”.
- Para cada aspecto, no debe haber más de un atributo “no crítico” calificado como “no aceptable”.
- La calificación global final debe ser mayor o igual a “aceptable”.

En el caso de no cumplirse los requisitos para aprobar la fase de calibración, en una primera oportunidad se deberá revisar el equipo, verificar que todos sus componentes estén en buen estado desde el punto mecánico y eléctrico, ajustar y corregir lo que fuese necesario, y reemplazar eventuales piezas dañadas. Asimismo, si en la fase de evaluación de precisión y exactitud los equipos no logran alcanzar rangos aceptables para los indicadores de precisión (R&R), también deberá efectuarse una cuidadosa revisión del equipo. Posteriormente se debe volver a evaluar el proceso de calibración, y si continúan persistiendo problemas que no puedan ser solucionados de otra forma, en última instancia podrá considerarse el envío del equipo a la fábrica original, para que sea sometido a una revisión más exhaustiva.



La falta de precisión también puede deberse a varios factores que no sólo sean inherentes al equipo (mal manejo circunstancial por parte del operador, condiciones climáticas momentáneamente desfavorables, problemas de seguridad durante la operación, etc.), los cuales deberán ser evaluados cuidadosamente en base a las observaciones efectuadas durante la ejecución de mediciones en pistas de prueba. Si el problema se hubiera generado por factores externos al equipo, deberá efectuarse nuevamente la evaluación, cuidando que no se repitan las circunstancias externas desfavorables.

5.4 Verificación de calidad para los procedimientos de evaluación

Las listas de verificación diseñadas inicialmente para el SAE también se evaluaron para asegurar la calidad del procedimiento de evaluación en sí mismo, analizando su nivel de aplicabilidad y su grado de independencia en relación a los distintos evaluadores.

Para ello se desarrolló una prueba experimental en caminos de Chile, con el fin de verificar el procedimiento de evaluación, usando pruebas estadísticas para chequear la capacidad potencial, exactitud y reproducibilidad, empleando técnicas Seis-Sigma. Posteriormente se llevó a cabo un proceso iterativo para perfeccionar y modificar las listas de verificación, hasta alcanzar un resultado final satisfactorio, asegurando un buen nivel de calidad y la independencia de los procesos de evaluación propuestos por el SAE.

La capacidad potencial fue evaluada para cada lista de verificación considerando las calificaciones asignadas por los evaluadores. La Tabla 1 muestra las calificaciones finales obtenidas empleando las respectivas listas de verificación diseñadas para cada equipo evaluado, así como el correspondiente valor Cp. Todos los valores Cp estuvieron claramente sobre el valor mínimo aceptable ($C_p > 0,48$).

Lista de verificación Checklist	Sección de Prueba / Instrumento Test Section / Device	Calificaciones Finales Asignadas Final Qualifications Assigned			Cp
		Eval 1 (Master) Evaluac. 1 (Patrón)	Eval 2	Eval 3	
Nº 1 (Secciones de pruebas)	Secc. G-148/Sect. G-148	6.78	6.39	6.67	1.66
Nº 1 (Test Sections)	Secc. Camino 5N/Sect. Road 5N	6.78	6.78	6.78	8
Nº 2 (Calibración del Péndulo Británico)	Eq. PB Patrón/BP Master	6.30	5.94	6.05	1.83
Nº 2 (British Pendulum Calibration)	PB Nº 2/BP Nº 2	6.65	6.32	6.40	1.95
Nº 3 (Calibración del GripTester)	Eq. GT Patrón/GT Master	6.85	6.74	6.88	4.6
Nº 3 (GripTester Calibration)	GT Nº 2	6.82	6.59	6.78	2.73
Nº 4 (Calidad de las Medidas GT)	Eq. GT Patrón/GT Master	7.00	7.00	7.00	8
Nº 4 (Quality of GT Measurements)	GT Nº 2	5.33	5.66	5.66	1.73

Tabla 1. Calificaciones finales y valores Cp obtenidos por cada lista de verificación dentro del SAE

Table 1. Final qualifications and Cp values obtained for each checklist in DCS

La exactitud fue evaluada a través de un análisis de diferencias normalizadas en medias obtenidas entre las calificaciones asignadas, para cada lista de verificación. Los valores obtenidos para diferencias normalizadas estuvieron dentro del rango 0 – 0.05 en todos los casos, lo que cumple con los objetivos establecidos inicialmente.

La reproducibilidad normalizada fue calculada para cada lista de verificación y los resultados en todos los casos estuvieron por debajo de 0.03, lo cual se encuentra bajo el valor máximo aceptable de 0.04.

6. Conclusiones

Este artículo presenta las principales características de dos sistemas diseñados para certificar los procesos de calidad relacionados con las mediciones de resistencia al deslizamiento en caminos pavimentados, llamados Sistema de Acreditación de Mediciones y Sistema de Acreditación de Equipos, respectivamente. Estos sistemas están basados en listas de verificación que permiten evaluar aspectos específicos de las mediciones y procesamiento de datos sobre RD, calibración de instrumentos y calidad de los reportes de datos. Un grupo de evaluadores emplea dichas listas para chequear que los procedimientos evaluados alcancen un nivel aceptable de calidad.

La calidad intrínseca de los procedimientos de evaluación fue verificada por medio de tests estadísticos específicos, tales como capacidad potencial, repetibilidad, reproducibilidad y precisión. Todos estos indicadores cumplieron las tolerancias predefinidas, mostrando claramente que los mecanismos de evaluación resultan eficientes e independientes de los evaluadores. Desde la perspectiva de la gestión de infraestructura vial, estos sistemas constituyen una herramienta muy útil para asegurar la calidad, ya que una correcta medición de la resistencia al deslizamiento es un factor clave para alcanzar un grado de seguridad satisfactorio para el tránsito real que circula por los caminos.

7. Agradecimientos

Los autores desean agradecer al FONDEF de CONICYT Chile, por el apoyo financiero otorgado durante el proyecto FONDEF D03I-1042. Los autores también expresan su gratitud por la colaboración y apoyo otorgados por la Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile, como organización contraparte durante el proyecto. Además hacen un reconocimiento al apoyo técnico y económico aportado por CINTRA, grupo de empresas concesionarias de caminos, que también formaron parte del equipo del proyecto.

8. Referencias / References

BSI (2000), Surface friction for pavements – Part 2: Test method for measurement of surface skid resistance using the GripTester braked wheel fixed slip device. British Standards, BS 7941-2:2000. ISBN 0-580-33210-1. UK, September 2000.

De Solminihac H., Bustos M., Echaveguren T., Chamorro A. (2006), Servicio de Acreditación de Mediciones de Fricción con Péndulo Británico y GripTester: Resultado Final. Proyecto FONDEF D03I-1042, Santiago de Chile, Marzo 2006.

Escalante E. (2004), Sigma-Seis: Metodología y Técnicas. Editorial Limusa, Noriega Editores, México D.F., 2004.

Kenett R. and Zacks S. (2000), Modern Industrial Statistics, Thompson Learning, Mexico.

Montgomery D. (1991), Introduction to Statistical Quality Control, Wiley, United States.