EXPERIMENTAL ANALYSIS OF MAIN TEST DEVICES USED FOR EVALUATION OF SKID RESISTANCE [1] [2]

Francis DUTRUEL

CONCRETE INDUSTRY STUDY AND RESEARCH CENTRE - CERIB
Epernon, France

Gérard DEGAS

CONCRETE INDUSTRY STUDY AND RESEARCH CENTRE - CERIB
Epernon, France

Delphine DELARSON

CONCRETE INDUSTRY STUDY AND RESEARCH CENTRE - CERIB
Epernon, France

1. ORIGIN AND PURPOSE OF THE STUDY

Pedestrians "skidding" on slippery paving or flooring is an extremely frequent cause of accidents.

The slip resistance of paving or flooring is an aspect of the draft mandate of future European standards for roading products, and directly corresponds to an essential requirement of the European Construction Products Directive in that it governs the safety of use of the works.

In France there are many methods for assessing the "slipperiness" of paving and flooring. However they generally give disparate results.

This study is based on a broad campaign of experiments whose results were correlated with the results of psychophysical tests, and results in a rational assessment of the performance of the various measuring devices currently used in France.

It transpires that among the most commonplace paving and flooring materials tested, modular concrete materials (pavers and flags) perform very well in terms of slip resistance.

2. TEST METHODS STUDIED

The test methods studied are:

1. The Tortus device.
2. The AFPV device (low velocity friction tester).
3. The SRT pendulum (skid resistance tester).
4. The PFT device (portable friction tester).
5. The Ramp.

Theses devices are detailed in the Annex.

3. SPECIMENS TESTED

Seven types of materials are tested:

1. **Concrete:** Smooth I-shaped interlocking pavers and rough 400 mm x 400 mm flags.
2. **Ceramic tiles:** Smooth 200 mm x 200 mm tiles and rough 100 mm x 100 mm tiles.
3. **Rubber:** One rough-textured (black) and two smooth-textured (green and grey).
4. **Clay tiles:** Rough I-shaped interlocking pavers and smooth 300 mm x 300 mm flags.
5. **PVC:** One smooth-textured (yellow) and one rough-textured (red).
6. **Linoleum:** One smooth-textured.
7. **Wood:** One smooth woodblock surfacing, one timber laminate surfacing.

4. TESTS CONDUCTED

1. **Repeatability tests** are conducted with the same device on the same surfacing, in the same place, the same day, and by the same operator. Their purpose is therefore to characterize the device's ability to consistently replicate the same result under constant test conditions.

2. For a given test method, **reproducibility tests** are conducted with different devices and operators in different places. Their purpose is to determine whether a given method can replicate results irrespective of the operator and place of testing.

3. **Round-robin tests** are conducted with all devices on all kinds of materials. Their purpose is to conduct a comparative analysis of the results obtained with the different test methods. The comparison concerns all types of pavings and floorings.

   It appears that:

   - The TORTUS device generally has the highest results and the SRT pendulum the lowest, except for the tests on dry wood which are a special case. The figures obtained with the AFPV, the Ramp, and the

---

1 The editors used the International System of Units (SI) in this book of Proceedings, and the comma "," as the Decimal Marker. Each paper is presented first in English and then in Spanish, with the Tables and Figures, in both languages, placed in between.

2 This is the original version of this paper.

PFT device lie between these extremes.
- For a given material, the results obtained with the different methods vary broadly, particularly if the materials are deemed to be "slippery".
- Certain test methods cannot be applied on certain materials: the PFT on rough textures (concrete flags and pavers), and the AFPV on non-porous materials (rubber, PVC).
- If the black rubber flooring is overlooked, all the devices except the TORTUS and, to a lesser extent, the Ramp, have quite a narrow range of measurements on smooth synthetic materials.

4. **Parametric study** is conducted to detect the effect the main slip resistance parameters have on the coefficients of friction measured using the different methods.

The program is summarized in Table 1.

The materials chosen were two materials with very different performance in terms of slip resistance:

- Concrete "I" pavers;
- A rubber flooring material.

Three types of lubricant were used: water, soapy water (water with 0,5 % sodium dodecylsulphate), and glycerin diluted with 10 % water.

4.1 EFFECT OF SLIDER SPEED

The results show that for the devices concerned, the effect of the speed for a given device is limited, especially when the lubricant used is soapy water.

However it can be seen that there is an exception in the case of the PFT using a water-lubricated PVC flooring (lower coefficient of friction).

Depending on the characteristics of the devices and materials, the effect of different components of the phenomenon (adhesion, hysteresis, hydrodynamics) may be more or less important, which may explain these small and sometimes different changes.

4.2 EFFECT OF VERTICAL FORCE

It can be seen that although the effect of this parameter is not marked, it varies from one device and material to another.

The results with the AFPV appear to be less sensitive to variations in vertical force than those obtained with the other devices.

In purely theoretical terms, there are two types of operation:

1. **Dry:** the coefficient of friction decreases as pressure increases.
2. **Lubricated:** the coefficient of friction is generally lower than that obtained "dry".

In the tests performed, the type of lubrication conditions likely to be set up depends on the device and the roughness of the materials.

4.3 EFFECT OF SLIDER HARDNESS

This parameter has practically no effect on the coefficient of friction, except in the case of the AFPV on PVC, especially when the lubricant used is soapy water. In this case, the coefficient of friction increases with slider hardness, rising from 0,18 to 0,34 with water as the lubricant and from 0,11 to 0,27 with soapy water (with hardness rising from 41 to 67 Shore A).

In purely theoretical terms, with dry testing, the coefficient of friction reduces when slider hardness increases. With lubricated testing, it is accepted that the hardness of the slider has no effect on the coefficient of friction.

4.4 EFFECT OF SLIDER ANGLE OF ATTACK

The slider angle of attack has little effect on the coefficient of friction.

4.5 EFFECT OF SLIDER SHAPE

When the slider has a rounded edge, the coefficient of friction increases when the material is lubricated with water. However, the limited nature of the test means this conclusion cannot be generalized.

4.6 EFFECT OF QUANTITY OF WATER

The depth of water has no significant effect on the coefficient of friction, chiefly on concrete "I" pavers.

This result tends to show that irrespective of the thickness of lubricant, the film remains.

It also tends to show that the definition of lubrication conditions (in the case of water) in the test procedure requires no great accuracy.

4.7 EFFECT OF FRICTION LENGTH

NB: *The variation in vertical force resulting from reduction of the friction length was taken into account. The coefficient of friction is assessed theoretically from the loss of potential energy.*

The effect of the friction length is limited in the case of lubrication with water. With soapy water, the coefficient of friction increases as the friction length decreases.

4.8 EFFECT OF SLIDER WIDTH

When the slider width is divided by half (while retaining a friction length of 127 mm), the value of the coefficient of friction hardly changes. This phenomenon is probably due to greater pressure and consequently greater deformation of the slider which, by mobilizing a larger contact surface, compensates the coefficient of friction.

These results were confirmed for other materials and appear in Table 2.

4.9 EFFECT OF TYPE OF LUBRICANT

Irrespective of the device and material tested, the effect of the lubricant on the coefficient of friction can be quite appreciable.

The more marked effect of the lubricant in the PFT test is probably due to creation of a ridge of lubricant ahead of the test wheel.

Psychophysical test is based on assessment by several operators of the slip resistance of one material relative to another.

This assessment results in a subjective classification which is then correlated with the classifications obtained with the various devices for measuring slip resistance in order to appreciate how representative they are.

The original nature of this study merits more details. It is the purpose of the next section.

5. PSYCHOPHYSICAL TESTS

The tests were carried out by six persons on eight different materials lubricated with glycerin.

The eight materials were evaluated by the different devices under the same conditions.

NB: A new German test device, the FSC 2000, was also used. It is similar to the TORTUS:

1. *Slider dimensions: 25,4 mm x 25,4 mm;*
2. *Vertical force: 2,4 daN;*
3. *Displacement speed: 200 mm/s.*

The materials tested were:

① Concrete "I" pavers
② 400 mm x 400 mm concrete pool-deck flags
③ Clay "I" pavers
④ 300 mm x 300 mm smooth clay flags
⑤ 100 mm x 100 mm rough ceramic tiles
⑥ Rough black rubber
⑦ PVC
⑧ Wood laminate

5.1 TEST PROCEDURE

These materials in the form of test slabs are laid out side by side, at the same level, and are coated with glycerine.

The tester, wearing safety shoes, runs and slides on them.

He gives his impression for each pair of materials. The number of tests per person is therefore the number of combinations of two materials given by the formula

$$n'(n-1)/2 \qquad (1)$$

where:

n: number of materials

i.e. 28 combinations for the 8 materials tested.

5.2 RESULTS AND CORRELATION WITH THE DEVICES TESTED

Table 3 gives the classifications for the different materials (from the least to the most slippery) obtained from psychophysical testing and with the various devices. The classifications obtained with the devices are then compared to the "subjective" classification by ranking correlation using a correlation coefficient obtained with the Spearman equation:

$$r = 1 - \frac{6 \sum di^2}{n(n^2 - 1)} \qquad (2)$$

where:

di: d1-d2; the difference between the ranking obtained in the subjective test, d1, and the ranking obtained with the device, d2, for the material concerned,
n: is the number of materials tested.

The correlation between the ranking obtained by psychophysical testing and the ranking obtained with a given device is therefore better the closer the correlation coefficient is to unity (see Table 3).

This table shows that there is good correlation between the rankings obtained with the PFT, SRT, and AFPV and the ranking with the psychophysical test (the correlation coefficients are all at least 0,85). The correlation obtained with the TORTUS is much lower than those with the other devices.

6. SUMMARY AND GENERAL CONCLUSIONS

Table 4 summarizes the main results.

The first part of the study shows that the devices tested on selected materials, and with water lubrication, generally performed well in terms of repeatability and reproducibility.

The parametric study, which was relatively limited for certain parameters, has shown that for the different methods and materials selected, and within the ranges of variation tested, the results for the coefficient of friction with water lubrication are most frequently little affected by the speed of the slider, its hardness, its width, or the friction length (see partial conclusions concerning the parametric study).

This observation is interesting since it shows that a slight deviation from the standard test conditions (for the parameters mentioned above) has no significant effect on the results of measurements.

On the contrary, the results are heavily influenced by the type of lubricant, which is seen to be an important factor for this type of test. Thus, regardless of the device used, the coefficient of friction decreases substantially when water and soapy water is used as the lubricant instead of water alone. There is also a smaller reduction in the coefficient of friction when glycerine is used instead of water and soapy water.

The method of lubrication also has a significant effect on the selectivity of the devices, i.e. their ability to differentiate two different materials. This charac-

teristic can be analyzed by examining the range of the measurements they give for a group of materials with different slip resistance characteristics.

In decreasing order of performance in terms of selectivity with water on the 7 materials selected[3], the devices rank as follows: AFPV, SRT, Ramp, TORTUS, PFT.

With glycerine lubrication, the sensitivity of some devices decreases relative to that for water lubrication (e.g. AFPV and SRT), and the contrary is true for others.

The numerous investigations carried out in connection with this study show that irrespective of the material tested, the coefficients of friction with the different devices are quite disparate. This highlights the importance of mentioning the test method in texts laying down specifications on slip resistance.

Although it does not give a direct evaluation of a coefficient of friction, the psychophysical study is of obvious special interest in that the method used is similar to the real conditions of pedestrian slipping. However, the fact that it uses glycerin for lubrication means it is representative of the most dangerous conditions of use.

Use of this method nevertheless made it possible to rank the devices in terms of their correlation with the psychophysical tests. In order of increasing correlation, and on the basis of 8 materials, they rank as follows: TORTUS (0,63), FSC 2000 (0.81), Ramp (0,82), PFT (0,85), AFPV and SRT (0,87).

The corresponding coefficients of friction obtained for this investigation, using each device, are given in the graph of Figures 2. This graph have the materials on the horizontal scale, in order of their ranking in the psychophysical test, and in most cases supports the correlations obtained. However, it does appear that, taking account of the lubricant used, the values given by some devices are very low, and their selectivity becomes dubious.

For comparison of the devices in other ranges of measurement, the results of tests with water lubrication are given in the graph in Figure 3, where the materials are again arranged according to their ranking in subjective tests.

With the materials concerned, this graph indicates the following:

1. The TORTUS whose plot is practically horizontal confirms its lack of selectivity (the coefficient of friction measured is close to 1, irrespective of the material tested).
2. The Ramp gives average correlation and selectivity.
3. The AFPV and SRT confirm the good correlation mentioned previously, together with good selectivity.
4. The PFT could be used on PVC and clay flags only in these trials (impossible to take readings with materials with high slip resistance when lubricated with water).

Apart from all the qualities mentioned above in connection with this study, other criteria could also be taken into account in the analysis when selecting a method:

1. The length of material involved in the test, possibly with consideration of joints in the case of modular materials.
2. Aptitude for dealing with all kinds of materials.
3. Feasibility in situ.
4. Autonomy.

Thus, if the main criteria for ranking are correlation with the psychophysical tests and selectivity for the more common materials (excluding special materials for industrial applications) with water lubrication, the resulting ranking is as follows (in increasing order of performance): PFT, TORTUS, Ramp, AFPV, SRT.

1. The PFT cannot take readings on materials such as concrete and clay "I" pavers, and its use is therefore restricted to particularly slippery materials for specific applications.
2. The length of friction can take account of joints. It also has the advantage of being autonomous and usable in situ.
3. The TORTUS does not correlate well with the psychophysical tests and proved not to be very selective. The length of friction can take account of joints. It has the advantage of being usable in situ, but requires an electric power outlet nearby.
4. The principle of this device is attractive. Development could probably improve its selectivity (increased speed, vertical force, slider dimensions). The FSC 2000 represents a change in this direction, but additional investigation is necessary.
5. The Ramp gives interesting results. It can take account of joints. However it is difficult to implement and cannot be applied in situ.
6. The AFPV is selective, although it proved impossible to use it on black rubber.
7. The length of friction takes account of joints. However this device cannot be used in situ and has to be reserved for laboratory use.
8. The SRT is selective. Its length of friction does not take account of joints unless they are flush. Within the range of materials tested, it was usable in all cases. However the SRT cannot be used when the material has significant relief (e.g. checker-plate, non-slip tiles).
9. On the other hand, it is easy to use and autonomous, and can be used in situ.

7. ANNEX

7.1 DESCRIPTION OF THE TEST METHODS

[3] Clay and concrete pavers, clay and concrete flags, 100 mm x 100 mm ceramic tiles, black rubber, PVC.

7.1.1 THE TORTUS DEVICE

The device moves across the material at a constant velocity (V) of 17 mm/s, dragging a 9 mm diameter flat "slider" with a vertical force (P) of 0,2 daN.

A sensor measures the resulting horizontal force (F), on the slider.

The F/P ratio is continuously recorded during the movement and used to calculate the average coefficient of friction.

7.1.2 THE AFPV (LOW VELOCITY FRICTION TESTER) DEVICE

The device has a motor and reduction gearing which pulls a saddle along two guide bars at a constant velocity (≈ 3 km/h).

The bottom of the saddle is fitted with a rubber slider on which a vertical force of 12,4; 20,7; or 36,1 daN is exerted by means of springs.

The slider support is fitted with a sensor for continuously measuring horizontal force, from which the average coefficient of friction can be determined.

7.1.3 THE SRT PENDULUM (SKID RESISTANCE TESTER)

① Pendulum (500 mm from center of slider)
② Rubber slider
③ Needle
④ Scale
⑤ Spirit level
⑥ Rack
⑦ Pendulum holder and release button

The pendulum ① has a rubber "slider" ② of known characteristics at its end. This slider rubs against the surface to be tested.

While it rubs against the surface, a spring pushes it against the surface with a force of 22,2 N.

The velocity of the slider is 2,7m/s at the start of each measurement.

An adjustment system keeps the friction length within set limits (124,5 to 127 mm).

Once all the adjustments have been made, the slider is released from its horizontal position ⑦.

The maximum height of pendulum upswing, which depends on the energy absorbed by the frictional resistance, is marked by a needle ③ on a scale which directly indicates the coefficient of friction ④.

7.1.4 THE PFT DEVICE (PORTABLE FRICTION TESTER)

The operator pushes the PFT at a constant speed of 0,4 m/s across the material to be tested.

By means of chain drive, the rear wheels drive the front wheel at a lower speed than their own.

The resulting braking torque is recorded.

Using the known constant vertical force of 112 N applied to the front wheel, the coefficient of friction can be deduced.

7.1.5 THE RAMP

The test rig consists of a 600 mm wide, 2 m long flat platform which can be infinitely adjusted to angles between 0 and 45° to the horizontal.

The angular movement is controlled by the person conducting the test, and can be selected as either one continuous movement or as steps of 1 °.

The measurement of the platform angle to the horizontal is accurate to within 0,5 °.

There are handrails at the sides of the device to ensure operator safety, and the operator is also secured by a safety harness to prevent falls.

DEVICES / *APARATOS*	AFPV	SRT C	SRT L	TORTUS	PFT	Ramp
Materials *Materiales*	"I" pavers / *adoquines en "I"* + PVC	"I" pavers *adoquines en "I"*	PVC	"I" pavers *adoquines en "I"* + PVC	"I" pavers *adoquines en "I"* + PVC	"I" pavers *adoquines en "I"* + PVC
Temperature (°C) / Humidity (%) *Temperatura / Humedad*	20 °C 65 % RH	20 °C 65 % RH	20 °C 65 % RH	20 °C 65 % RH	20 °C 65 % RH	
Parameters studied / *Parámetros estudiados*						
Effect of slider speed (m/s) *Efecto de la velocidad del deslizador*	0,83 0,70 0,55 0,42	6 speeds between 2 m/s and 3,5 m/s *6 velocidades entre 2 m/s y 3,5 m/s*	6 speeds between 2,7 m/s and 3,5 m/s *6 velocidades entre 2,7 m/s y 3,5 m/s*	/ / / /	0,83 0,56 0,28 /	/ / / /
Effect of vertical force (daN) *Efectos de la fuerza vertical (daN)*	12,4 20,7 36,1 / /	1,2 2,22 3,69 / /	1,2 2,22 3,69 / /	0,2 0,3 0,4 0,5 /	11,8 14,2 15,8 17,8 19,6	/ / / / /

Table 1. Parameters used for the test with the different devices.
Tabla 1. *Parámetros usados para los ensayos con los diferentes aparatos.*

DEVICES / *APARATOS*	AFPV	SRT C	SRT L	TORTUS	PFT	Ramp
Effect of slider hardness (Shore A) ***Efecto de la dureza del deslizador (Shore A)***	41 55 67	41 55 67	41 55 67	41 55 67	41 41 67	/ / /
Effect of slider angle of attack ***Efecto del ángulo de ataque del deslizador***	10° / 20°	/	/	/	/	/
Effect of slider shape ***Efecto de la forma del deslizador***	/	/	/	0° / 0° rounded *redondeado*	/	/
Effect of friction length (mm) ***Efecto de la longitud de fricción***	/ / /	127 84 42	/ / /	/ / /	/ / /	/ / /
Effect of slider width (mm) ***Efecto del ancho del deslizador***	/ /	38 76	/ /	/ /	/ /	/ /
Effect of lubricant type ***Efecto del tipo de lubricante***	water / *agua* soapy water */ agua* *jabonosa* glycerine / *glicerina*	water / *agua* soapy water */ agua* *jabonosa* glycerine / *glicerina*	water / *agua* soapy water */ agua* *jabonosa* glycerine / *glicerina*	water / *agua* soapy water */ agua* *jabonosa* glycerine / *glicerina*	water / *agua* soapy water */ agua* *jabonosa* glycerine / *glicerina*	water / *agua* soapy water */ agua* *jabonosa* glycerine / *glicerina*
Effect of quantity of lubricant (thickness of water film in mm) ***Efecto de la cantidad de lubricante (espesor de la película de agua en mm)***	0 2 4	/ / /	/ / /	/ / /	/ / /	/ / /

Table 1. Parameters used for the test with the different devices. (Cont.)
Tabla 1. *Parámetros usados para los ensayos con los diferentes aparatos. (Cont.)*

LUBRICANT: WATER, FRICTION LENGTH: 127 mm *LUBRICANTE: AGUA; LONGITUD DE FRICCIÓN: 127 mm*	FRICTION WIDTH (mm) *ANCHO DE FRICCIÓN*	
MATERIALS / *MATERIALES*	76	38
Glass / Vidrio	0,08	0,06
Stainless steel sheet / Lámina de acero inoxidable	0,10	0,08
Polished marble tile / Baldosa de mármol pulido	0,17	0,17
Smooth concrete flag / Loseta lisa de concreto	0,34	0,33
Rough quarry tile / Baldosa rugosa de cantera	0,46	0,42
Polished concrete flag / Loseta pulida de concreto	0,61	0,60
Concrete paver / Adoquín de concreto	0,68	0,68

Table 2. Effect of the Friction Width.
Tabla 2. *Efecto del ancho de fricción.*

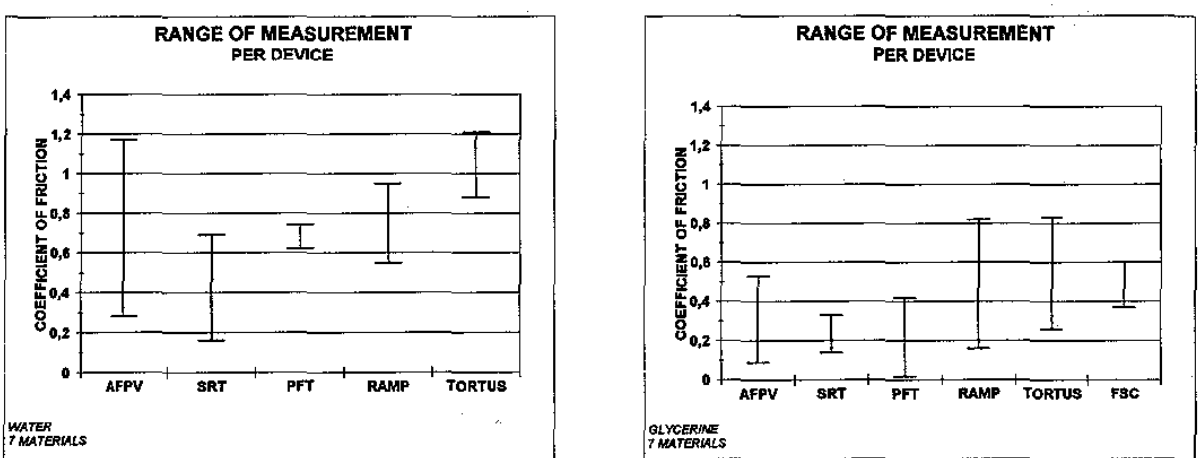
	METHODS / MÉTODOS						
MATERIALS / *MATERIALES*	**SUBJECTIVE** ***SUBJETIVO***	**PFT**	**SRT**	**AFPV**	**TORTUS**	**FSC 2000**	**Ramp*** ***Rampa****
Clay pavers / *Adoquines de arcilla*	1	2	2	2	1	2	2
Concrete pavers ***Adoquines de concreto***	2	1	2	1	6	4	4
Concrete flags / *Losetas de concreto*	3	3	1	2	2	3	1
Ceramic tiles (100 x 100) mm ***Baldosas cerámicas***	4	5	5	5	3	1	3
Clay flags / *Losetas de arcilla*	5	7	5	6	7	6	5
Black rubber / *Caucho negro*	6	4	4	4	4	5	8
PVC	7	6	8	6	5	7	7
Wood / *Madera*	7	8	7	8	8	7	6
Coefficient of correlation ***Coeficiente de correlación***		0,85	0,87	0,87	0,63	0,81	0,82

* Tests carried out with safety footwear / *Ensayo llevado a cabo con calzado de seguridad.*

Table 3. Ranking of materials by devices.
Tabla 3. *Clasificación de los materiales según los diferentes aparatos.*

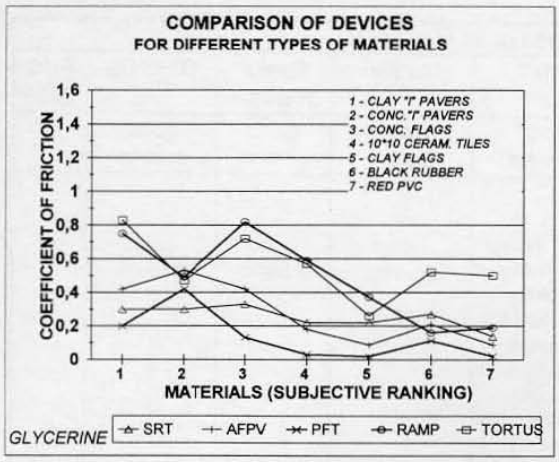
	METHOD / *MÉTODO*						
CRITERIA / *CRITERIO*	**SUBJECTIVE** *SUBJETIVO*	**PFT**	**SRT**	**AFPV**	**Ramp** *Rampa*	**TORTUS**	**FSC 2000**
Repeatability *Repetibilidad*	Good *buena*	good *buena*	good *buena*	good *buena*	good *buena*	good *buena*	
REPRODUCIBILITY *REPRODUCIBILIDAD*							
Operator *Operador*	Good *bueno*	good *bueno*	good except laminate *bueno excepto para laminado*	good *bueno*	good *bueno*	good *bueno*	
Device *Aparato*			anomaly with rubber *anormalmente con caucho*				
Feasible in situ *Factible en el lugar*		yes *si*	yes *si*	no *no*	no *no*	yes *si*	yes *si*
ROUND-ROBIN TESTS *ENSAYOS ROUND-ROBIN*			lowest values *los valores menores*			highest values *los valores mayores*	
Sensitivity (range) *Sensibilidad (rango)*							
Water / *Agua*		0,12	0,53	0,89	0,40	0,33	
Glycerin / *Glicerina*		0,40	0,19	0,46		0,66	0,30
Field of application *Campo de aplicación*		not suitable for rough materials *inadecuado para materiales rugosos*		not suitable for very slippery materials *inadecuado para materiales muy lisos*			
Integration of joints *Integración de juntas*	Yes *si*	yes *si*	no *no*	yes *si*	yes *si*	yes *si*	yes *si*
Correlation/Subjective 8 materials, glycerin *Correlación / Subjetiva 8 materiales, glicerina*	1	0,85	0,87	0,87	0,82	0,63	0,81

Table 4. Results.
Tabla 4. *Resultados.*



COEFICIENTE DE FRICCIÓN vs APARATOS
Water / Agua – Materials / Materiales – Glycerin / Glicerina

Figure 1. Range or measurement per device (with water and glycerin).
Figura 1. *Rango de medición por aparato (con agua y glicerina).*

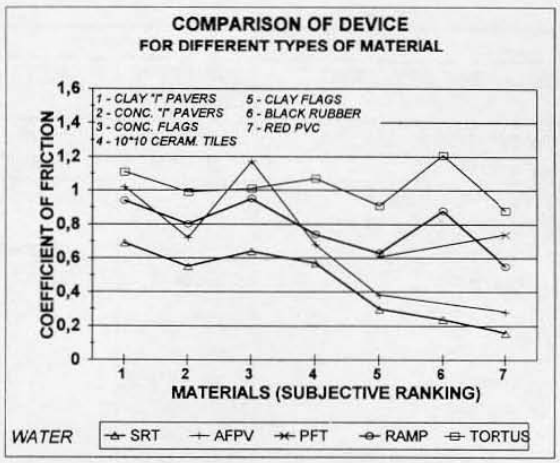


COEFICIENTE DE FRICCIÓN vs MATERIALES (CLASIFICACIÓN SUBJETIVA)

1. Adoquines de arcilla en "Y" - 2. Adoquines de concreto en "Y" - 3. Losetas de concreto - 4. Losetas cerámicas de 100 x 100 mm - 5. Losetas de arcilla - 6. Caucho negro - 7. PVC Rojo - Glycerin / *Glicerina*

Figure 2. Comparison of devices for different types of materials (with glycerin).

Figura 2. *Comparación de aparatos para diferentes tipos de materiales (con glicerina).*

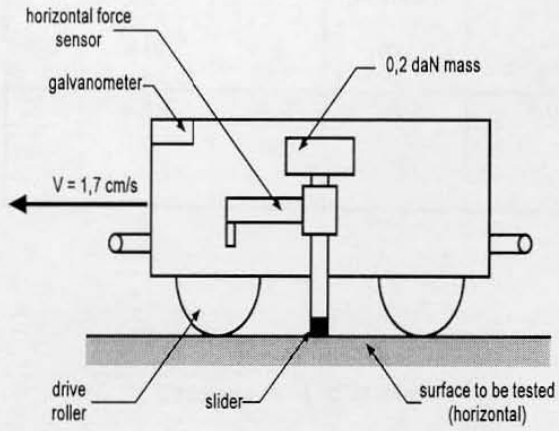


COEFICIENTE DE FRICCIÓN vs MATERIALES (CLASIFICACIÓN SUBJETIVA)

1. - 7. Adoquines de arcilla en "Y" - 2. Adoquines de concreto en "Y" - 3. Losetas de concreto - 4. Losetas cerámicas de 100 x 100 mm - 5. Losetas de arcilla - 6. Caucho negro PVC Rojo - Water / *Agua*

Figure 3. Comparison of devices for different types of materials (with water).

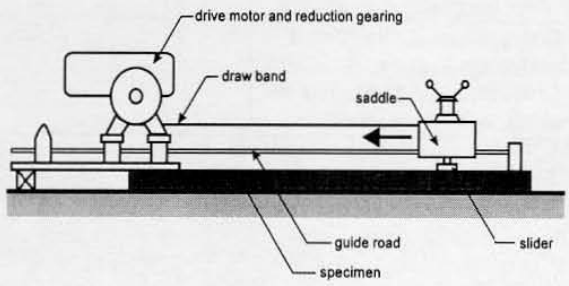
Figura 3. *Comparación de aparatos para diferentes tipos de materiales (con agua).*



Horizontal force sensor / *Sensor de fuerza horizontal* - Galvanometer / *Galvanómetro* - Mass / masa - Drive roller / *Rodillo motor* - Slider / *Deslizador* - Surface to be tested (horizontal) / *Superficie a ser ensayada (Horizontal)*

Figure A1. TORTUS device (schematic).

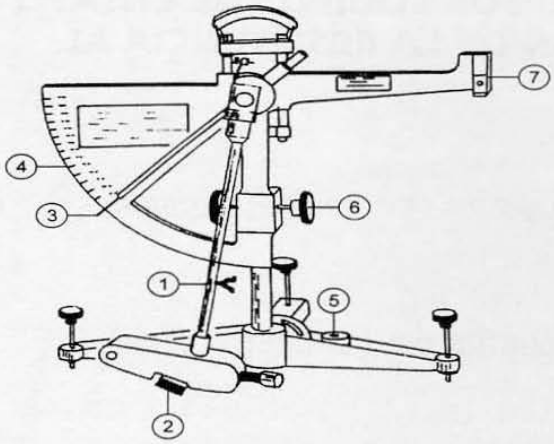
Figura A1. *Equipo TORTUS (esquema).*



Drive motor and reduction gear / *Motor impulsor y caja de reducción* - Draw band / *Banda de tracción* - Saddle / *Montura* - Guide Rode / *Barra de guía* - Specimen / *Espécimen* - Slider / *Deslizador*

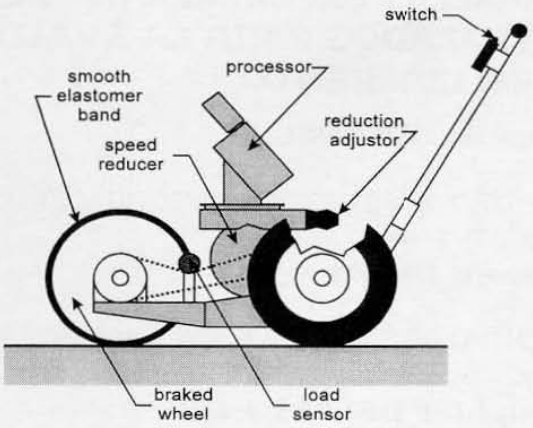
Figure A2. AFPV (low velocity friction tester) device (schematic).

Figura A2. *Equipo AFPV (equipo de evaluación de fricción de velocidad lenta) (esquema).*



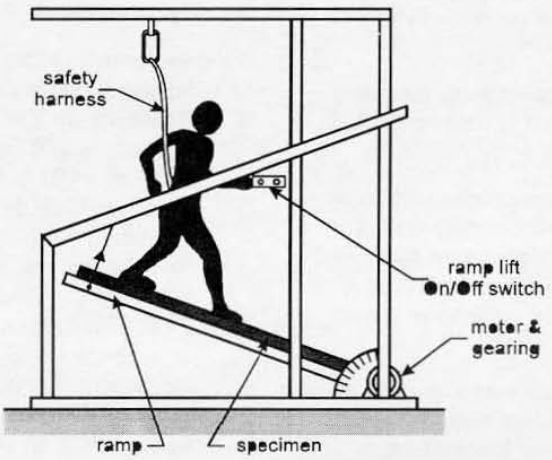
1. Pendulum (500 mm form center of slider) / *Péndulo (500 mm desde el centro del deslizador)* - 2. Rubber slider / *Deslizador de caucho* - 3. Needle / *Aguja* - 4. Scale / *Dial* - 5. Spirit level / *Burbuja de nivelación* - 6. Rack / *Ajuste de altura* - 7. Pendulum holder and release button / *Soporte para el péndulo y botón de liberación*

Figure A3. SRT pendulum (skid resistance tester) (schematic).
Figura A3. *Péndulo SRT (evaluador de resistencia al deslizamiento) (esquema).*



Smooth elastomeric band / *Banda de elastómero blando* - Speed reducer / *Reductor de velocidad* - Processor / *Procesador* - Reduction adjuster / *Ajustador de la reducción* - Switch / Interruptor - Brake wheel / *Rueda de freno* - Load sensor / *Sensor de carga*

Figure A4. Portable Friction Tester (schematic).
Figura A4. *Medidor de fricción portátil (esquema).*



Safety harness / *Arnés de seguridad* - Ramp / *Rampa* - Specimen / *Espécimen* - Ramp lift on/off switch / *Interruptor para prender y apagar el elevador de la rampa* - Motor & gearing / *Motor y caja de reducción*

Figure A5. Ramp (schematic).
Figura A5. *Rampa (esquema).*

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE DIVERSOS EQUIPOS DE ENSAYO UTILIZADOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO [4] [5]

Francis DUTRUEL

CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO - CERIB
Epernon, Francia

Gérard DEGAS

CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO - CERIB
Epernon, Francia

Delphine DELARSON

CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO - CERIB
Epernon, Francia

1. ORIGEN Y PROPÓSITO DEL ESTUDIO

El resbalamiento de los transeúntes en pavimentos o pisos resbaladizos es una causa extremadamente frecuente de accidentes.

La resistencia del pavimento o de los pisos al resbalamiento es un aspecto del proyecto de Norma Europea para productos para superficies de carreteras, y corresponde directamente a un requerimiento esencial de la Dirección Europea de Productos para la Construcción, puesto que gobierna la seguridad en el uso de las obras.

En Francia existen muchos métodos para evaluar lo resbaladizo de un piso o pavimento. Sin embargo, ellos brindan resultados diferentes.

Este estudio esiá basado en un programa amplio de ensayos cuyos resultados fueron comparados con los resultados de pruebas sicofísicas, y da como resultado una medición racional del desempeño de los diferentes métodos de medición utilizados actualmente en Francia.

Sucede que entre los materiales más comunes de pavimentos y pisos estudiados, los materiales modulares de concreto (adoquines y losetas) se comportan muy bien en términos de resistencia al resbalamiento.

2. MÉTODOS DE ENSAYO ESTUDIADOS

Los métodos de ensayo estudiados fueron:

1. El aparato TORTUS.
2. El aparato AFPV (probador de fricción de baja velocidad).
3. El péndulo SRT (probador de resistencia al patinado).
4. El aparato PFT (probador portátil de fricción)
5. La Rampa.

Estos métodos se detallan en el anexo.

3. MUESTRAS ENSAYADAS

Se evaluaron siete tipos de materiales:

1. **Concreto:** Adoquines lisos con forma de "I", y losetas rugosas de 400 mm x 400 mm.
2. **Baldosín de cerámica:** Baldosines lisos de 200 mm x 200 mm y baldosines rugosos de 100 mm x 100 mm.
3. **Caucho:** Uno de textura rugosa (negro), dos de textura lisa (verde y gris).
4. **Baldosines de arcilla:** Adoquines lisos con forma de "I" y losetas de 300 mm x 300 mm.
5. **PVC:** Una textura pulida (amarilla) y una textura rugosa (roja).
6. **Linóleum:** Una textura pulida.
7. **Madera:** Una superficie en madera pulida y una superficie en madera laminada.

4. ENSAYOS REALIZADOS

1. **Los ensayos de repetibilidad** son efectuadas con el mismo método, sobre la misma superficie, en el mismo lugar, el mismo día, y por el mismo operador. Su propósito es, por lo tanto, caracterizar la habilidad del aparato para repetir consistentemente el mismo resultado bajo condiciones constantes de prueba.
2. Para un método de prueba dado, **los ensayos de reproducibilidad** se realizan con diferentes aparatos y operadores en diferentes lugares. Su propósito es determinar si un aparato dado puede reproducir resultados independientes del operador y del lugar de la prueba.

---

4 Los editores utilizaron el Sistema Internacional de Unidades (SI) en estas Memorias, y la coma "," como Puntuación Decimal. Cada ponencia se presenta primero en Inglés y luego en Español, con las Tablas y Figuras, en ambos idiomas, colocadas en medio de ellas.

5 Esta es una traducción de la ponencia original escrita en Inglés, realizada por Zoraya Falah y Germán G. Madrid, no sometida a la aprobación del autor.

3. **Los ensayos Round-robin** son llevadas a cabo con todos los aparatos sobre todos los materiales. Su propósito es efectuar un análisis comparativo de los resultados obtenidos con los diferentes métodos de prueba. Las comparaciones conciernen todos los tipos de pavimentos y pisos.

   Parece ser que:

   - El método TORTUS generalmente obtiene los más altos resultados, mientras que el péndulo SRT los más bajos, excepto por las pruebas en madera seca que conforman un caso especial. Los resultados obtenidos con el AFPV, la Rampa, y el PFT se encuentran entre estos extremos.
   - Para un material dado, los resultados obtenidos con los diferentes aparatos cambian sustancialmente, especialmente si los materiales han sido determinados como" resbaladizos".
   - Algunos métodos de prueba no pueden ser aplicados en algunos materiales: el PFT en texturas rugosas (losetas y adoquines de concreto), y el AFPV en materiales no porosos (PVC, caucho).
   - Si no se tienen en cuenta los pisos en caucho negro, todos los métodos excepto el TORTUS, y en una menor escala, La Rampa, tienen un rango estrecho de medición sobre los materiales sintéticos pulidos.

4. **Estudio paramétrico** conducido para detectar el efecto que tienen los parámetros principales de resistencia al resbalamiento, sobre los coeficientes de fricción medidos utilizando los diferentes métodos.

El programa se resume en la Tabla 1.

Se escogieron dos materiales con un desempeño muy diferente en términos de resistencia al resbalamiento:

- Adoquines de concreto con forma de "I"
- Un material de caucho para pisos

Se utilizaron tres tipos de lubricantes: agua, agua jabonosa (agua con 0,5 % de dodecilsufato de sodio) y glicerina diluida con 10% agua.

4.1 EFECTO DE VELOCIDAD DE DESLIZADOR

Los resultados muestran que para los métodos concernientes, el efecto de la velocidad para un método determinado, es limitado, especialmente cuando el lubricante utilizado es el agua jabonosa.

Sin embargo se puede ver que hay una excepción en el caso del PFT utilizando un piso de PVC lubricado con agua (más bajo coeficiente de fricción).

Dependiendo de las características de los métodos y los materiales, el efecto de los diferentes componentes del fenómeno, (adherencia, histéresis, hidrodinámica) pueden ser más o menos importantes, lo cual puede explicar estos pequeños y en algunos casos, diferentes, cambios.

4.2 EFECTO DE LA FUERZA VERTICAL

Se puede apreciar que aún cuando el efecto de este parámetro no es muy marcado, varía de un método y de un material a otro.

Los resultados con el AFPV parecen ser menos sensibles a las variaciones en la fuerza vertical que aquellos obtenidos con los otros métodos.

En términos puramente teóricos, existen dos clases de operación:

1. **Seco:** El coeficiente de fricción disminuye a medida que aumenta la presión.
2. **Lubricado:** El coeficiente de fricción es generalmente más bajo que el obtenido en "seco".

En los ensayos realizados, el tipo probable de condiciones de lubricación, a ser establecido, depende del método y de la rugosidad de los materiales.

4.3 EFECTOS DE ENDURECIMIENTO DEL DESLIZADOR

Este parámetro no tiene prácticamente ningún efecto sobre el coeficiente de fricción, excepto en el caso del AFPV sobre el PVC, especialmente cuando el lubricante utilizado es agua jabonosa. En este caso el coeficiente de fricción incrementa con el endurecimiento del deslizador subiendo de 0,18 a 0,34 con agua como lubricante (con el endurecimiento incrementando de 41 a 67 Shore A).

En términos puramente teóricos, con las pruebas secas, el coeficiente de fricción se reduce cuando el endurecimiento del deslizador se incrementa. Con las pruebas lubricadas se acepta que el endurecimiento del deslizador no tenga efecto sobre el coeficiente de fricción.

4.4 EFECTO DEL ÁNGULO DE ATAQUE DEL DESLIZADOR

Este ángulo tiene poco efecto sobre el coeficiente de fricción.

4.5 EFECTO DE LA FORMA DEL DESLIZADOR

Cuando el deslizador tiene bordes redondeados, el coeficiente de fricción incrementa cuando el material se lubrica con agua. Sin embargo, la naturaleza limitada de la prueba quiere decir que ésta conclusión no puede ser generalizada.

4.6 EFECTO DE LA CANTIDAD DE AGUA

La profundidad del agua no tiene un efecto significativo sobre el coeficiente de fricción, principalmente sobre los adoquines con forma de "I".

El resultado tiende a mostrar que, independiente del espesor del lubricante, la película permanece.

También tiende a mostrar que la definición de las condiciones de lubricación (en el caso del agua), en los procedimientos de ensayo, no requieren de gran exactitud.

4.7 EFECTO DE LONGITUD DE FRICCIÓN

NB: *La variación de la fuerza vertical resultante de la reducción de la longitud de fricción, fue tomada en cuenta. El coeficiente de fricción, es calculado teóricamente a partir de la pérdida de energía potencial.*

El efecto de la longitud de fricción es limitado en el caso de la lubricación con agua. Con agua jabonosa, el coeficiente de fricción incrementa a medida que disminuye la longitud de fricción.

4.8 EFECTOS DEL ANCHO DEL DESLIZADOR

Cuando el ancho del deslizador se divide a la mitad, (conservando una longitud de fricción de 127 mm), el valor del coeficiente de fricción, raras veces cambia. Este fenómeno se debe probablemente a la mayor presión, y consecuentemente, a la mayor deformación del deslizador, la cual al movilizar una superficie más grande de contacto, compensa el coeficiente de fricción.

Estos resultados fueron confirmados para otros materiales y aparecen en la Tabla 2.

4.9 EFECTO DEL TIPO DE LUBRICANTE

Independiente del método y del material evaluado, el efecto del lubricante en el coeficiente de fricción puede ser bastante apreciable.

El efecto más marcado del lubricante en la prueba PFT, se debe probablemente a la formación de un surco de lubricante más adelante de la rueda de prueba.

La prueba sicofísica está basada en la valoración, por parte de varios operarios, de la resistencia al deslizamiento de un material con respecto a otro.

Esta valoración resulta en una clasificación subjetiva que es correlacionada después con las clasificaciones obtenidas con los diferentes métodos para medir la resistencia al deslizado, para poder apreciar que tan representativas son.

La naturaleza original de este estudio, amerita más detalles. Es ese el propósito de la próxima sección.

5. PRUEBAS SICOFÍSICAS

Las pruebas fueron llevadas a cabo por 6 personas en 8 materiales diferentes, lubricados con glicerina.

Los ocho materiales se evaluaron con los diferentes métodos, bajo las mismas condiciones.

NB: *Un método de prueba nuevo, Alemán, el FSC 2000, también se utilizó. Es similar al TORTUS:*

1. *Dimensiones del deslizador: 25,4 mm x 25,4 mm.*
2. *Fuerza vertical: 2,4 daN.*
3. *Velocidad de desplazamiento: 200 mm/s.*

Los materiales evaluados fueron:

① Adoquines de concreto con forma de "I".
② Losetas de 400 mm x 400 mm, de concreto, utilizadas para pisos que rodean piscinas.
③ Adoquines de arcilla con forma de "I".
④ Losetas de arcilla, lisas, de 300 mm x 300 mm.
⑤ Baldosines rugosos de cerámica de 100 mm x 100 mm.
⑥ Caucho negro rugoso.
⑦ PVC.
⑧ Madera laminada.

5.1 PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

Estos materiales, en forma de losas de prueba, se colocan uno al lado del otro, al mismo nivel, y se cubren con glicerina.

El operador se coloca zapatos de seguridad, para correr y deslizarse sobre ellos.

Luego el operador dá su impresión de cada par de materiales. El número de pruebas por persona es, por lo tanto, el número de combinaciones de los dos materiales dados por la fórmula:

$$N \times \{(n-1)/2\} \qquad (1)$$

donde:

n: número de materiales

es decir, 28 combinaciones para los 8 materiales evaluados.

5.2 RESULTADOS Y CORRELACIÓN CON LOS MÉTODOS EVALUADOS

La Tabla 3 da las clasificaciones de los diferentes materiales (del menos al más resbalante), obtenidos de las pruebas sicofísicas con los diferentes métodos. Las clasificaciones obtenidas con los métodos, se compararon con la clasificación subjetiva ordenando la correlación, utilizando un coeficiente de correlación obtenido con la ecuación Spearman

$$r = 1 - \frac{6 \sum di^2}{n(n^2 - 1)} \qquad (2)$$

donde:

di: d1-d2; la diferencia entre la clasificación obtenida en la prueba subjetiva, d1, y la clasificación obtenida con el método, d2, para el material concerniente.
n: es el número de materiales evaluados.

La correlación entre la clasificación obtenida en las pruebas sicofísicas y la clasificación obtenida con un método dado, es mejor mientras más cercano sea el coeficiente de correlación a la unidad (ver Tabla 3).

Esta Tabla muestra que existe una buena correlación entre las clasificaciones obtenidas con el PFT;

SRT y AFPV y la clasificación con la prueba sicofisica (los coeficientes de correlación son, al menos, 0,85). La correlación obtenida con el método TORTUS es más baja que aquellas con las otras pruebas.

6. RESUMEN Y CONCLUSIONES GENERALES

La Tabla 4 resume los principales resultados:

La primera parte del estudio muestra que los métodos evaluados sobre los materiales seleccionados, y con lubricación con agua, se desempeñaban generalmente bien en términos de repetvidad y uniformidad.

El estudio paramétrico, que fue relativamente limitado para ciertos parámetros, ha mostrado que para los diferentes métodos y materiales seleccionados, y con los rangos de variación evaluados, los resultados para el coeficiente de fricción, con lubricación con agua, son menos afectados frecuentemente por la velocidad del deslizador, su dureza, su ancho, su longitud de fricción (vea las conclusiones parciales concernientes al estudio paramétrico).

Esta observación es interesante puesto que muestra que una desviación ligera de las condiciones regulares de ensayo (para los parámetros arriba mencionados) no tiene efectos significativos sobre los resultados de las mediciones.

Por el contrario, los resultados son influenciados fuertemente por el tipo de lubricante, el cual se ve como un factor importante para este tipo de pruebas. De tal manera que sin importar el método utilizado, el coeficiente de fricción disminuye sustancialmente cuando se utilizan agua y agua jabonosa como lubricantes en vez de agua sola. Hay también una pequeña reducción del coeficiente de fricción cuando se utiliza la glicerina en vez del agua o el agua jabonosa. El método de lubricación también tiene un efecto significativo en la selección de los métodos, es decir, su habilidad para diferenciar los dos materiales. Estas características pueden ser analizadas examinando el rango de las medidas que dan para un grupo de materiales con diferentes características de resistencia al deslizamiento.

En orden descendente de desempeño, en términos de selectividad con agua, sobre los 7 materiales seleccionados[6], los métodos se clasifican de la siguiente manera: AFPV; SRT; Rampa, TORTUS; PFT.

Con lubricación con glicerina, la sensibilidad de la mayoría de los métodos disminuye, en comparación a aquella de la lubricación con agua (AFPV y SRT), y sucede lo contrario para los otros.

Las numerosas investigaciones llevadas a cabo con este estudio, muestra que independientemente del material evaluado, los coeficientes de fricción con los diferentes métodos, son desiguales. Lo cual realza la importancia de mencionar el método de prueba en los textos, dando especificaciones sobre la resistencia al resbalamiento.

Aún cuando no se da una evaluación directa del coeficiente de fricción, el estudio sicofísico es de obvio interés especialmente porque el método utilizado es similar a las condiciones reales de resbalamiento de los transeúntes. Sin embargo, el hecho de que utiliza glicerina para la lubricación significa que representa las condiciones más peligrosas de uso.

La utilización de este método, sin embargo, hizo posible clasificar los métodos en términos de su correlación con las pruebas sicofísicas. En orden de incremento de la correlación, y sobre las bases de los 8 materiales, se clasificaron de la siguiente manera: TORTUS (0,63), FSC 2000 (0,81), RAMP (0,82), PFT (0,85), AFPV y SRT (0,87).

Los coeficientes correspondientes de fricción obtenidos para esta investigación, utilizando cada método, se dan en la Figura 2. Esta gráfica tiene los materiales en la escala horizontal, en el orden de clasificación de la prueba sicofísica, y en la mayoría de los casos soporta las correlaciones obtenidas. Sin embargo parece que, teniendo en cuenta el lubricante utilizado, los valores dados para algunos métodos son muy bajos, y su selectividad se vuelve dudosa.

Por comparación de los métodos en otros rangos de mediciones, los resultados de las pruebas con lubricación con agua, se dan en la Figura 3, donde los materiales están una vez más organizados de acuerdo con su clasificación en las pruebas subjetivas.

Con los materiales concernientes, esta gráfica muestra lo siguiente:

1. El TORTUS cuya caída es prácticamente horizontal confirma su falta de selectividad (el coeficiente de fricción medido es cercano a 1, independiente del material evaluado).
2. La Rampa da una correlación y una selectividad promedias.
3. El AFPV y el SRT confirman la buena correlación mencionada previamente, junto con la buena selectividad.
4. El PFT podría ser utilizado solamente en PVC, y baldosas de arcilla (imposible tomar lecturas con materiales con alta resistencia al deslizado cuando se lubrican con agua).

Aparte de todas las cualidades mencionadas arriba en correlación con este estudio, se podrían tomar en cuenta otros criterios en el análisis cuando se selecciona un método:

1. La longitud del material incluido en la prueba, posiblemente con consideración de uniones en el caso de materiales modulares
2. Aptitud para relacionarse con todas las clases de materiales.

6 Adoquines de arcilla y de concreto, losetas de arcilla y de concreto, baldosas cerámicas de 100 mm x 100 mm, caucho negro, PVC.

3. Posibilidades de ejecución del ensayo en el sitio.
4. Autonomía

Así, si los criterios principales para la clasificación son la correlación con las pruebas sicofísicas, y la selectividad de los materiales más comunes (excluyendo materiales especiales para aplicaciones industriales), con lubricación con agua, la clasificación resultante es la siguiente en orden creciente de desempeño): PFT; TORTUS; Rampa, AFPV, SRT.

1. El PFT no puede tomar lecturas de los materiales como en los adoquines en concreto y arcilla y su utilización es por lo tanto restringida a materiales particularmente resbalables para aplicaciones específicas.
2. La longitud de fricción puede tener en cuenta las juntas. Tiene también la ventaja de ser autónomo y utilizable en el sitio.
3. El TORTUS no se correlaciona bien con las pruebas sicofísicas y ha demostrado no ser muy selectivo. La longitud de fricción puede tener en cuenta las juntas. Tiene la ventaja de ser utilizable en el sitio, pero requiere de una toma de corriente eléctrica cercana.
4. El principio de este método es atractivo. El desarrollo podría mejorar su selectividad (mayor velocidad, fuerza vertical, dimensiones de deslizador). El FSC 2000 representa un cambio en esta dirección, pero se requiere investigación adicional.
5. La Rampa da unos resultados interesantes. Puede tener en cuenta las juntas. Sin embargo, es difícil de implementar y no puede ser aplicada en el sitio.
6. El AFPV es selectivo, aun cuando se ha probado que es imposible utilizarlo en caucho negro.
7. La longitud de fricción tiene en cuenta las juntas. Sin embargo no puede ser utilizado en el sitio y tiene que ser reservado para uso de laboratorio únicamente.
8. El SRT es selectivo. Su longitud de fricción no tiene en cuenta las juntas, a no ser que sean limpiadas. Con el rango de materiales evaluados, fue útil en todos los casos. Sin embargo el SRT no puede ser utilizado cuando el material tiene un relieve significativo (como en el caso de tableros de damas, baldosas antideslizantes).
9. Del otro lado, es muy fácil de utilizar y autónomo, además puede ser utilizado en el sito.

7. ANEXO

7.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE ENSAYO

7.1.1 EL MÉTODO TORTUS

El aparato se mueve a lo largo del material a una velocidad constante (V) de 17 mm/s hincando un deslizador plano con un diámetro de 9 mm, con una fuerza vertical (P) de 0,2 daN.

Un sensor mide la fuerza horizontal resultante (F) del deslizador.

El cociente F/P se registra continuamente durante el movimiento y se utiliza para calcular el coeficiente promedio de fricción.

7.1.2 EL MÉTODO AFPV (MEDIDOR DE FRICCIÓN A BAJA VELOCIDAD)

Este aparato tiene un motor y una palanca de reducción la cual hala un cojinete a lo largo de dos barras guiadas a una velocidad constante (≈ 3 km/h).

El fondo del cojinete termina en un deslizador de caucho, con una fuerza vertical de 12,4; 20,7; o 36,1 daN ejercida por medio de resortes.

Al soporte del deslizador se le coloca un sensor para medir continuamente la fuerza horizontal, del cual se puede determinar el coeficiente promedio de fricción.

7.1.3 EL PÉNDULO SRT (MEDIDOR DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO)

① Péndulo (a 500 mm del centro del deslizador).
② Deslizador de caucho.
③ Aguja.
④ Escala.
⑤ Nivel de burbuja.
⑥ Soporte.
⑦ Tenedor de péndulo y botón de desprendido.

El péndulo ① tiene un deslizador de caucho ② de características conocidas en su parte final. Este deslizador se frota contra la superficie que va a ser evaluada.

Mientras se frota contra la superficie, un salto lo empuja contra la superficie con una fuerza de 22,2 N

La velocidad del deslizador es de 2,7 m/s al comienzo de cada medición.

Un sistema de ajuste mantiene la longitud de fricción dentro de los límites seleccionados (124,5 mm a 127 mm).

Cuando se han realizado todos los ajustes, se suelta el deslizador de su posición horizontal ⑦.

La altura máxima del péndulo cuando se detiene llendo hacia arriba, depende de la energía absorbida debido a la resistencia a la fricción, y queda registrada por una aguja ③ en una escala que indica el coeficiente de fricción directamente ④.

7.1.4 EL MÉTODO PFT (MEDIDOR DE FRICCIÓN PORTÁTIL)

El operador empuja el PFT a una velocidad constante de 0,4 m/s a lo largo del material a ser evaluado.

Por medio de una cadena, las llantas traseras mueven las delanteras a una velocidad más lenta que la propia.

La fuerza resultante de frenado se registra.

Utilizando la fuerza vertical constante conocida de

112 N aplicada a la rueda frontal, se puede deducir el coeficiente de fricción.

7.1.5 LA RAMPA

El dispositivo para pruebas consiste de una plataforma de 600 mm de ancho y 2 m de largo que puede ser ajustado a cualquier ángulo entre entre 0 ° y 45 ° con la horizontal.

El movimiento angular es controlado por la persona que lleva a cabo la prueba. Y puede ser seleccionado como un movimiento continuo o como por pasos de 1°

La medición del ángulo de la plataforma al horizontal tiene una aproximación de 0,5 °.

Hay unos pasamanos a los lados del aparato para asegurar la seguridad del operador, y el operador también se asegura con un arnés de seguridad para prevenir caídas.