

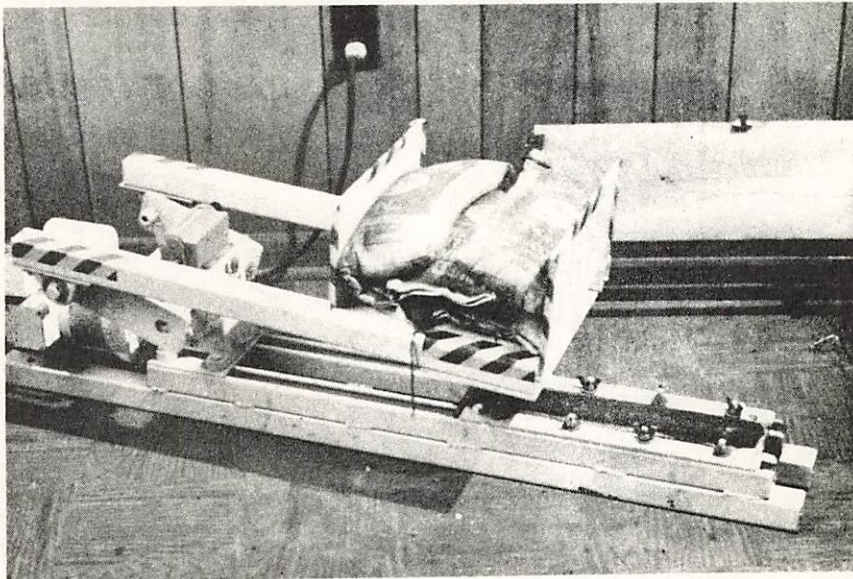
AN INTRODUCTION TO THE POTENTIAL USES OF A
LOADED WHEEL TESTER (LWT) FOR THE TRAFFIC
COUNT DESIGN OF SLURRY SEAL

By

C. Robert Benedict
BENEDICT SLURRY SEAL, INC.
320 Northview Road
Dayton, Ohio, 45419



REPRINTED IN CONDENSED FORM WITH
SPANISH TRANSLATION by
International Slurry Seal Association
1730 Pennsylvania Avenue N.W., Suite 1150
Washington, D. C. 20006
202-785-0500 February 10, 1978



DRAFT OF A REPORT FOR PRESENTATION TO THE RESEARCH AND
DEVELOPMENT COMMITTEE AT THE INTERNATIONAL SLURRY SEAL
ASSOCIATION (ISSA) ANNUAL CONVENTION

LAS VEGAS, NEVADA FEBRUARY 3 - 6, 1975

PRELIMINARY. . . .NOT FOR PUBLICATION

INTRODUCTION

Early field trials of slurry seals dating from at least 1953 (1) yielded enough successes to encourage advancements in the art. Transit mixers replaced mortar boxes and modern continuous flow machines replaced batch methods. As the machinery improved, laboratory techniques for design and testing also improved until today there are at least four basic mix design tools. They are:

- (1) The Wet Track Abrasion Tester (WTAT) as developed by Kari and Coyne (2) of Chevron and used extensively in the industry under ISSA Guide Specifications A-105, Feb. '72, and is presently under consideration for adoption by the ASTM D4 Committee.
- (2) The Annular Rubber Tubing Wet Track Abrasion Device developed by Slurry Seal, Inc., Waco, Texas, and used as an alternate design method in the ISSA Specifications. This machine was used in the research of Harper, Jimenez, and Gallaway (3).
- (3) A Rubber Ball, Sand, and Ice Water Impact Shaker Tester as conceived by Skog and Zube (4), (5) and developed by the late Lynn Baldwin (6) of the Kansas Highway Commission and is a part of their standard slurry seal design procedures.
- (4) A Steel Ball, Wet Sand Impact Abrasion Tester as developed by E. F. Fiock (7) of Slurry Seal, Inc., Waco, Texas.

Data from these above tests is given in total loss per unit time or cycles or rate of loss and bear a direct relationship to the surface are of the aggregate and residual asphalt content; i.e., the more residual asphalt content of the mix, the better the slurry design. No attempt has been made in these tests to establish design criteria for traffic loading except in Virginia (8) which sets both maximum and minimum limits to the WTAT loss.

Dr. Fiock reports that an increase in -200 mesh and subsequent increase in AC frequently yields "better" results. Hutchinson and Rose (9) have shown how simple plate compaction of a slurry specimen will dramatically reduce the WTAT loss. These observations make suspect our conventional design techniques when subjected to heavy traffic loadings.

When heavy traffic is applied to "optimum" WTAT design as we understand the current practice, the risk of a flushed surface is great and we may have "designed" a slippery pavement. There are instances (10), (11) where otherwise excellent slurry seals have been applied well within the limits of the specification and design but simply did not achieve their best potential skid numbers because of a slight excess of asphalt and the resultant bleeding or flushing under heavy traffic loads.

The goal of economy suggests the use of relatively thin applications of slurry, but finely graded dense mixes, though impermeable, are suspect as likely to become slippery. And yet we know of many outstanding safety achievements of slurry seal such as the Dallas story as reported by Starek (12) and others.

Low asphalt content slurries normally do well for skid resistance but may not be durable. High Void contents may shorten the life of any bituminous pavement (13) but at the same time contribute to good skid resistance.

McLeod (14) suggests that high void contents accompanied by thick asphalt films may produce optimum life or durability, but thick asphalt films may also increase the risk of flushing and loss of skid resistance.

In order to optimally resolve these dilemmas and as a beginning toward a rational design technique for heavy traffic loadings, I would like to introduce a new tool for the laboratory simulation of rolling traffic which I call the Loaded Wheel Tester or (LWT). By use of this tool we may learn to predict the effect of heavy traffic loading (cornering, braking, acceleration, trucks, VPD counts, etc.) and thereby select the best slurry seal designs to achieve the long term goals of economy, durability, and safety.

DESCRIPTION OF THE LOADED WHEEL TESTER (LWT) AND THE METHOD OF USE

(Fig. 1) The LWT shown consists of a 1" wide by 3" diameter number 180 Bassick soft rubber caster wheel mounted in Unistrut P-1000 framing. The dimensions are about 48" long x 14" wide x 16" high. A box to hold 25-pound bags of lead shot is mounted atop the wheel arms for loading the wheel. The loaded wheel rides on top of a 1/4" x 2" x 15" slurry specimen and is driven through a 12" reciprocating stroke by a 1/4 HP, 1750 RPM motor which is reduced 40:1 to give 44 cycles per minute or 1,000 cycles in 24 minutes. A Veeder Root Counter is mounted atop the reducer.

(Fig. 2) A 10:1 Profilograph after Jerry Rose is shown for measurement of the surface deformation during testing. No measuring devices for lateral displacement or shoving is shown.

(Fig. 3) 1/4" x 2" x 15" specimens are cast on a 20 gage x 3" x 16" galvanized sheet using a steel frame or mold. 300 grams of aggregate is sufficient. The slurry is allowed to air dry to constant weight before testing.

(Fig. 4) First, a blank profilograph is run to establish a base line, then the specimen is mounted and the profilograph traces the surface of the slurry before testing begins.

(Fig. 5) The caster is then positioned and loaded with 125 pounds of lead shot.

(Fig. 6) 100 cycles are run with the loaded wheel, the wheel and shot removed and a profilograph is drawn. This procedure is repeated at 200, 300, 500, and 1,000 cycles.

At some point an audible tackiness may be observed accompanied by visible shine and a tendency of the wheel to adhere to the extruded excess asphalt. I call this the "tack point". At this point it is necessary to lightly wet the surface to prevent tearing the specimen.

(Fig. 7) After all specimens in a series are run, they are washed of dust if necessary and air dried and weighed. A sand frame is then mounted over the specimen and filled with washed and dried 30 mesh Ottawa Silica Sand heated to 140°F and immediately compacted with 100 cycles of the loaded wheel. The specimen is removed and cleaned of loose sand by gentle tapping and weighed. The increase in weight is recorded as a measure of excess asphalt by sand absorption.

(Fig. 8) Shows a photo of a series after 1,000 cycles.

TABLE 2
125-POUND LOADED WHEEL TESTER
PROFILOGRAPH DATA (mm.) 11/1/75

CYCLES	0	100	200	300	500	1000
12% AE	39	38	38	34	34	32
	41	40	38	37	36	35
	<u>35</u>	<u>35</u>	<u>33</u>	<u>32</u>	<u>32</u>	<u>31</u>
Ave.	38.3	37.6	36.3	34.3	34.0	32.7
%		98.3	94.8	89.6	88.7	85.2
14% AE	41	40	35	34	33	28
	43	41	37	35	34	30
	<u>45</u>	<u>44</u>	<u>39</u>	<u>39</u>	<u>38</u>	<u>36</u>
%	43	41.6	37	36.0	35	31.3
		96.7	86.1	83.7	81.4	73.8
16% AE	38	30	29	27	26	24
	43	36	34	33	31	30
	<u>40</u>	<u>35</u>	<u>33</u>	<u>32</u>	<u>31</u>	<u>29</u>
%	40.3	33.6	32.0	30.6	29.3	27.6
		83.4	79.4	75.9	72.7	68.5
18% AE	42	33	33	31	28	27
	37	26	25	23	21	19
	<u>39</u>	<u>32</u>	<u>31</u>	<u>29</u>	<u>27</u>	<u>26</u>
%	39.3	30.3	29.6	27.6	25.3	24.0
		77.1	75.3	70.2	64.4	61.1
20% AE	39	28	25	23	23	21
	37	26	24	22	22	20
	<u>37</u>	<u>26</u>	<u>24</u>	<u>21</u>	<u>20</u>	<u>19</u>
%	37.6	26.6	24.3	22.0	21.7	20.0
		70.7	64.6	58.5	57.7	53.2
Ave. - 16% 20/30/20	28.3	21.0	-	-	15.3	-
%		74.0			54.1	

A CASE STUDY IN THE USE OF THE LOADED WHEEL TESTER
Alexandersville-Bellbrook Road, West Carrollton, Ohio

Ideally, laboratory work should precede field trials, but in this case, the work was done first in the field by educated guess and the lab work done afterwards.

Because A-B road is very heavily travelled and my concern of the consequences as the contractor, I hired our local testing lab, Bowser-Morner Testing Labs, so that I might at least learn from any mistakes we might make. The only guide we had was our previous extensive experience with our Xenia gravel and the certainty that our standard design would be too rich for the conditions. Their results are attached in the appendix.

A 14.3 pound quick-set cationic slurry was applied to some 4,000 feet of A-B Road. Widths varied from 22 to 34 feet. Work was completed July 13, 1974. A-B Road is a main connector between I-75 and Ohio Route 741 and carries 19,000 VPD with 10% trucks. As of January 15, 1975, 3,500,000 vehicle passes have been experienced with no major difficulty. Skid testing should start in about two months by ODOT research staff.

Fig. 9 shows a section of A-B Road as it passes the West Carrollton High School. This photo was taken from the I-75 overpass and is typical of the traffic encountered.

To make comparisons with the application and field test data with our LWT, we prepared 5 LWT specimens using the same Xenia glacial gravel, type II coarse gradation and asphalt emulsion at 12, 14, 16, 18, and 20% emulsion levels respectively. The formulations are shown in table 1. The specimens were each subjected to 100, 200, 300, 500, and 1,000 cycles of the 125-pound LWT and profilographs drawn at each period.

Fig. 11 shows the profilographs of these tests. Each profilograph was measured at three points and tabulated as shown in table 2. Notation of the tack points were made and the chart constructed as shown in figure 12. Interestingly, a definite pattern emerges. Fig. 13 shows the grams of sand adsorbed by the extruded excess asphalt. I have drawn a tack point line which indicates that above 4.25 grams absorption, tackiness is likely to occur. Fig. 14 illustrates the lateral and vertical displacements that are likely to occur but have not been considered here.

By superimposing the field data on figure 13, we now know at least one correlative design that is satisfactory at this date for heavy traffic in order of 20,000 VPD. Much more study will be required for establishing other traffic count designs.

POTENTIAL USES OF THE LWT

The immediate uses of the LWT as reported in this report are:

1. Void closure and content by profilograph
2. Compaction, lateral displacement and plastic distortion by profilograph and lateral measurements
3. Visual flushing
4. Audible tackiness or bleeding - tack point
5. Measurement of excess extruded asphalt by hot sand adsorption

Other suggested uses are:

6. Salt water permeability and sealability of compacted and uncompact specimens by resistivity studies
7. Water adsorption by weight increase and specific gravity
8. Freeze-thaw studies
9. Shear strength and adhesion to the substrate
10. Fatigue and deflection studies by mounting the specimen on a rubber pad
11. Wet compaction and abrasion studies
12. Wear rates by locked wheel, wet shoe or scewed wheel mounted in a wet sand box
13. Relative friction values by scewing the wheel and observing amperage measurements
14. A study of traffic effects on non-ideal or gap gradations
15. A study of traffic effects of various fillers, plastic fines, high surface area fines and sand equivalent
16. Comparison of mono-layer and multi-layer slurries
17. A study of crack filling and effectiveness of various slurries and crack fillers

VARIABLES

Variables which may affect the results of tests conducted on the LWT and are not considered in this preliminary report are at least the following:

1. Temperature. The runs reported here were conducted at $70^{\circ}\text{F} \pm 5^{\circ}\text{F}$. Runs should probably be made at temperatures more likely to be encountered at the time of application of the slurry to the road of say $100^{\circ}\text{F} \pm 5^{\circ}\text{F}$. The day-night temperature gradient and seasonal temperatures and the variations in traffic densities should be considered.
2. Loading. Wheel loading used here was 125 pounds and represents at least twice the normally encountered rolling loads under traffic. Subjective indications are that at double wheel loads, the number of LWT cycles approximate the square root of the accumulated traffic count; i.e., at 125 pound loading, 1,000 LWT cycles represents 1,000,000 vehicle passes.
3. Shoving. Lateral and vertical displacement of the specimen's periphery should be monitored. At some point, the slurry in the wheel track will become dense enough to resist further compaction and will through some "plastic movement" or "creep" force a definite measurable movement of the periphery or unrolled portion of the specimen. This movement should indicate the point of maximum compaction.
4. Force Analysis. Analysis of the actual variations of forces transferred to the specimen by the rocking of the load center of gravity over the caster pivot, the change in direction and acceleration of the load should be examined as to the effect these variations may have on the profilograph readings, peripheral displacement and variations in the extrusion of asphalt excess.
5. Tire Tread Shape. The shape of the tire tread cross section was slightly convex in the center and rounded at the edges rather than parallel and square with the axis. A squared cross section should be tried.
6. Tire Width. It may be desirable to use a tire width slightly greater than the specimen width so that the point of lateral displacement only is observed rather than combining upward vertical and lateral displacement measurements is avoided.
7. Specimen Thickness. Specimen thickness was arbitrarily set at $1/4"$ which at 15 lbs per SY dry weight of aggregate would be about 15 to 20% more than would be experienced in the field by a coarse type II gradation. This may give slightly richer sand adsorption values particularly since the specimen is applied to a smooth, non-absorbive surface.
8. Wheel Wetting. Water added to the tire and specimen after the tack point is observed in some tests promoted the abrasion and distribution of some abraded fines which became imbedded in the extruded asphalt and may have affected the sand number. It may be necessary to flood the specimen during the run to continually rinse off these fines as they are generated to obtain reproducible sand adsorption numbers.

Variables - Cont'd.

9. Tack Point. The determination of the tack point at best is somewhat subjective. Unevenness in specimen preparation, cleanliness of the tire tread and tackiness starting at only one end of the specimen rather than uniformly over the entire length of the specimen are variables.
10. Field Variables. Variations in the season of application, environmental contamination, rainfall, wear rates of the aggregates and wear rates, oxidation, and hardening of surface films of asphalt complicate field correlation with laboratory data.
11. Aggregate Characteristics. The gradation may play an important part in the optimum microm film thickness that can be maintained without excessive extrusion; e.g., the coarse fraction-fine fraction ratio (% retained on the sieve and the % passing 100, 200, and 325) as well as the sand equivalent of the total aggregate and the surface area of the -325, may play an important part in the plastic movement and deformation and extrusion of heavily asphalted fines to the surface. The toughness and acid insolubility wear rates may also play an important part in the stability of the slurry. Density, void in the mineral aggregate and total voids may also be important variables.
12. Emulsion Particle Size. Particle size distribution of the asphalt emulsion and/or the chemical activity (Zeta Potential) of the system may effect the uniformity of particle coating and thus the "lubrication" effect of the deformation characteristics of a specimen.
13. Asphalt Penetration. Stiffness, ductility, penetration, and viscosity at the temperatures used in the test may alter the results greatly.
14. Profilograph. Care in the use of the profilograph must be exercised. Another design may prove more effective.
15. Reciprocal Motion. The reciprocating design of the LWT used in this report obviously does not duplicate the motion of traffic. It may become necessary to design a single direction or rotary LWT in order to more nearly duplicate the direction of traffic.
16. Rebound. The elastic rebound that might take place after each wheel pass and the time required has not been considered here but in practice may play an important part in the accuracy of results.

OBSERVATIONS, COMMENTS, AND THEORY OFFERED FOR CRITICISM

With the materials and conditions used in preparing this report, my preliminary experience suggests the following hypotheses:

1. There is a definite, reproducible "compaction curve" produced by the LWT as measured by the profilograph.
2. There is a definite initial rate of compaction proportional to the asphalt content of the slurry specimen.
3. As the number of compaction cycles increases, the rate of compaction slows until the rate is independent of the asphalt content (at about 600 cycles).
4. At some number of cycles in the richer specimens, an audible tackiness will be observed due to excess asphalt being extruded at the tire-slurry interface. This "tack point" occurs in proportion to the amount of excess asphalt in the specimen and may indicate that nearly all voids are closed.
5. In the leaner specimens, the tack point is not reached until a large number of cycles have passed. In the leanest specimens, no tack point is reached indicating that not all voids are filled with asphalt.
6. The amount of excess extruded asphalt may be measured by hot sand adsorption. No tackiness up to about 4 grams adsorption. Tackiness does occur above 4 grams adsorbed and a flushed or bleeding pavement may be experienced.
7. Using the same asphalt, all dense graded aggregate slurry mixes may follow or be superimposed on these curves as will the sand adsorption and tack point values. But the residual asphalt content scale will change to accommodate the aggregate gradation and surface area.
8. We know from the actual field experience of A-B Road that with the applied design including 7.7% AC is satisfactory for the 19,000 VPD, 10% trucks, traffic count. We also know from much experience on residential streets that 19 to 20% emulsion (11.5 to 12% AC) is satisfactory though slightly rich for 100VPD counts. From these observations, 100 cycles of the 125-pound LWT may approximate 100 VPD and 1,000 cycles of the 125-pound LWT may equal 20,000 VPD. By estimating a quasi-semi-logarithmic scale between these values the following tentative LWT-traffic correlation emerges:

<u>LWT CYCLES @ 125#</u>	<u>VPD TRAFFIC COUNT</u>
100	100
200	1000
300	2000
500	4000
1000	20000

Observations, Item #8 - Cont'd.

By tracing the anticipated traffic count on the compaction curves vertically to the tack point line, it becomes possible to read the maximum residual AC content allowable. Residual AC Contents above this value may be expected to flush or bleed.

(Caution: the charted AC values apply only to the coarse Xenia gradation and must be changed for each different gradation.)

9. Compaction values, rating scales and "optimum" design techniques of the past may come under question.
10. Only by thorough study and critical analysis will these observations and hypotheses be proved, disproved, or improved. Tentative assistance in the ongoing research suggested here has been indicated by the Highway Equipment Company, Cedar Rapids, Iowa; Bitucote Products, Inc., St. Louis, Missouri; and the U. S. Corps of Engineers, Vicksburg, Miss. I am sure that the members of this committee can be counted on to furnish their assistance also.

I would like to thank the members of the committee for the encouragement to start this project and to especially recognize Al Day of Bitucote Products for his management of the affairs of the committee.

Respectfully submitted,

C. Robert Benedict

REFERENCES

1. "It's Really New: It's a Premixed Slurry for Patching and Sealing Roads", Western Construction, April, 1955, pp 25-27.
2. Kari, W. J. & Coyne, L. D. "Emulsified Asphalt Slurry Seal Coats", Proc. AAPT, Vol. 33, pp 502-537, 1964.
- 2a. Kari and Coyne "Emulsified Asphalt Slurry Seal Coats", Chevron Asphalt Technical Paper #125, Feb. 17, 1964.
- 2b. Paul McCoy, L. D. Coyne, "The Wet Track Abrasion Test", Chevron Asphalt Technical Paper #127, presented to the Road and Paving Materials Session, ASTM, Chicago, Je "64.
- 2c. Paul McCoy, "Wear Testing Slurry Seals by the WTAT Procedure", Proc ISSA Conv., San Francisco, Feb. '68.
3. William J. Harper, Rudolph A. Jimenez and Bob M. Galloway, "Effects of Mineral Fillers in Slurry Seal Mixtures", Paper sponsored by the HRB Committee on Bituminous Surface Treatments (HRB REC #104- 1965).
4. Zube, E. , "Studies on Water Permeability of Asphalt Concrete Pavements", Proc 4th. Annual Highway Conf., Univ. of the Pacific, March, 1961.
5. J. Skog & E. Zube, Proc of AAPT, Vol. 32, pp 380-411, 1963.
6. Personal Communication from Bud Clovis, Ballou Constrm. Co., Salina, Kansas, including photo copies of Kansas State Highway Comm., (1) Method of Test for determining the surface abrasion of laboratory prepared slurry seal mixes (as developed by Lynn Baldwin), (2) Calculation for slurry seal mix design-surface area method, (3) Laboratory procedures for design of slurry followed by the Kansas State Highway Commission.
7. Ernest F. Fiock, "A Shaker Method for Evaluating the Quality of Cured Slurries", Slurry Seal, Inc., Waco, Texas. Undated paper (ca. 1971) 54 pp.
8. Virginia Department of Highways "Special Provisions for Emulsified Asphalt Slurry Seal, Jan., 1974, revised Apr. "74".
9. John W. Hutchinson and Jerry G. Rose (Univ. of Kentucky), "Skid Resistant Slurry Seal" Paper presented to ISSA work shop seminars Apr. '68, Hershey, Pa., Washington D. C., Columbus, Ohio.
10. Phillip J. Arena, Jr., "Field Evaluation of Skid Resistant Surfaces", Louisiana Department of Highways Research Report, No. 47, June, 1970, pp 9, 23, 26.

REFERENCES - 2

11. Florida DOT interdepartmental memo, Nov. 12, 1971, "...In the aforementioned roadway sections where bleeding is evident, some skid numbers below 20 were found, the average for the entire section was 34. The bleeding pavement area was found to be very slippery and could be hazardous to traffic....."
- 11a. Florida DOT interdepartmental memo, Jan. 27, 1972, reports Charlotte County Airport Slurry SN's 40 of 76 to 81 !
12. John M. Starek, "Slurry Seal (an accident reducing material)", paper presented to ISSA Conv., New Orleans, Feb. '72.

Also: John M. Starek, "Curb Accidents with Slurry Seal", The American City, March, '72.
13. James M. Roberts and William H. Gotolski (Penn DOT), "Pavement Asphalt Properties and Pavement Durability", Paper presented to TRB, January, '75.
14. Norman W. McLeod, "Designing Standard Asphalt Mixtures for Greater Durability", Paper presented at the Canadian Technical Asphalt Assn. Mtg. Montreal, Nov., '71.

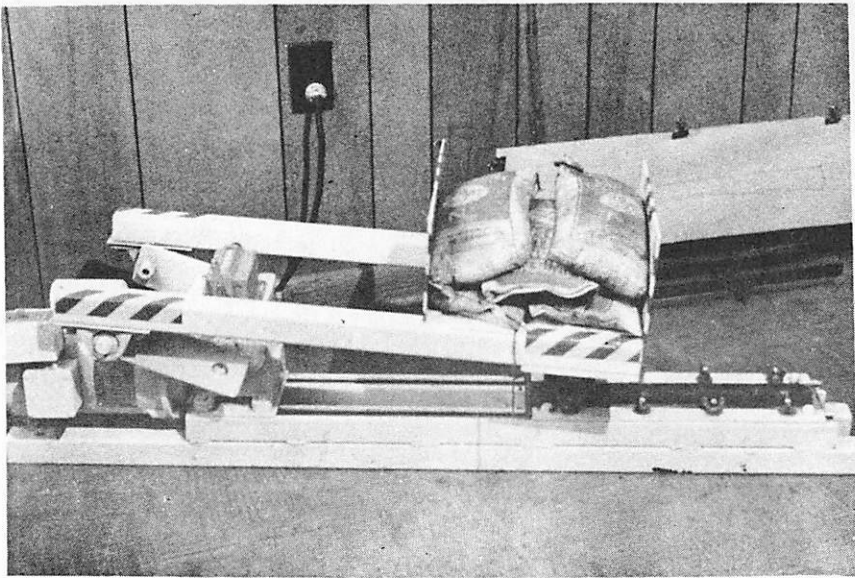


Fig. 1

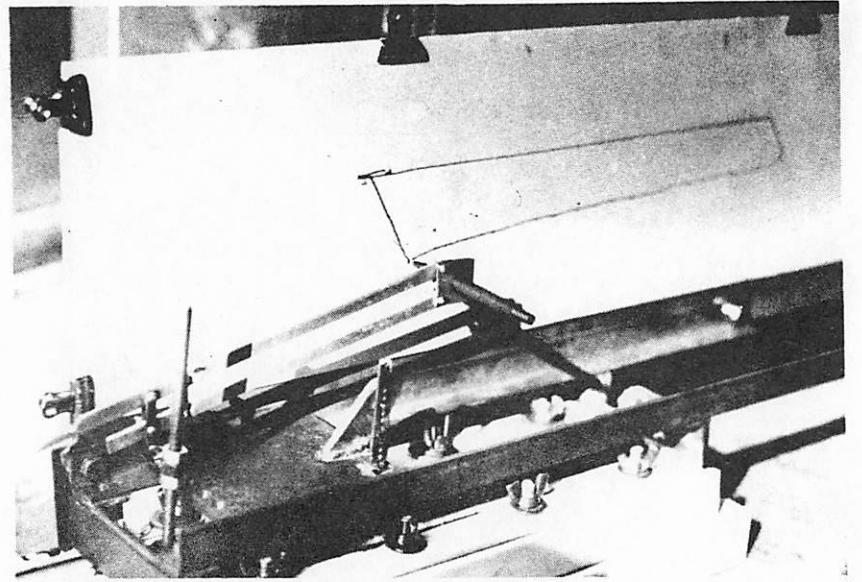


Fig. 2

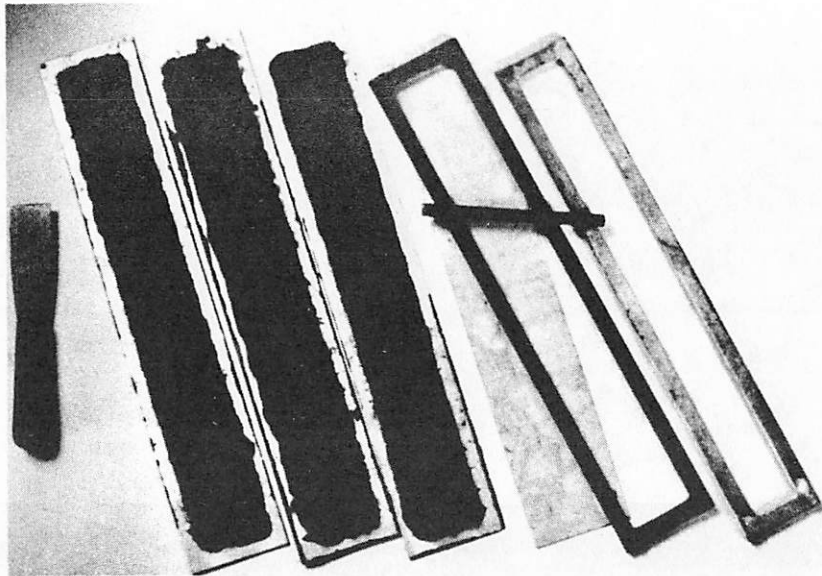


Fig. 3

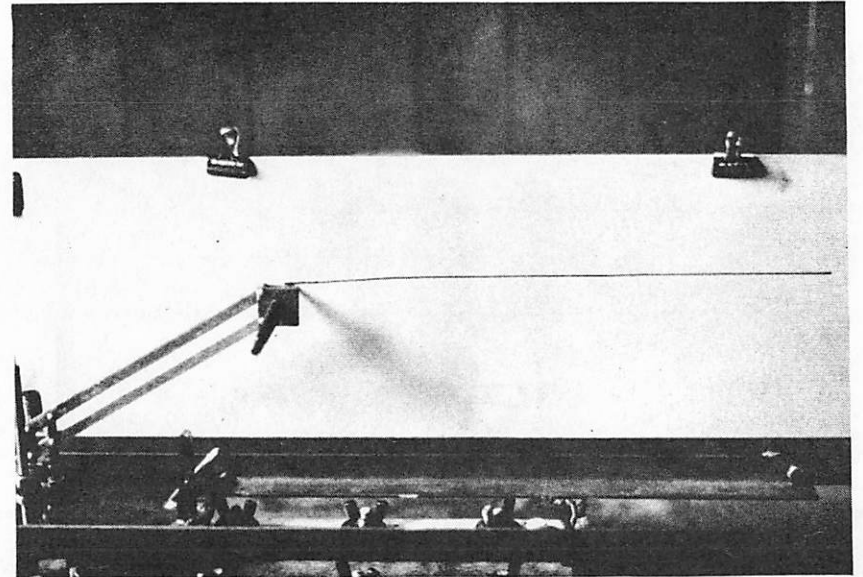


Fig. 4

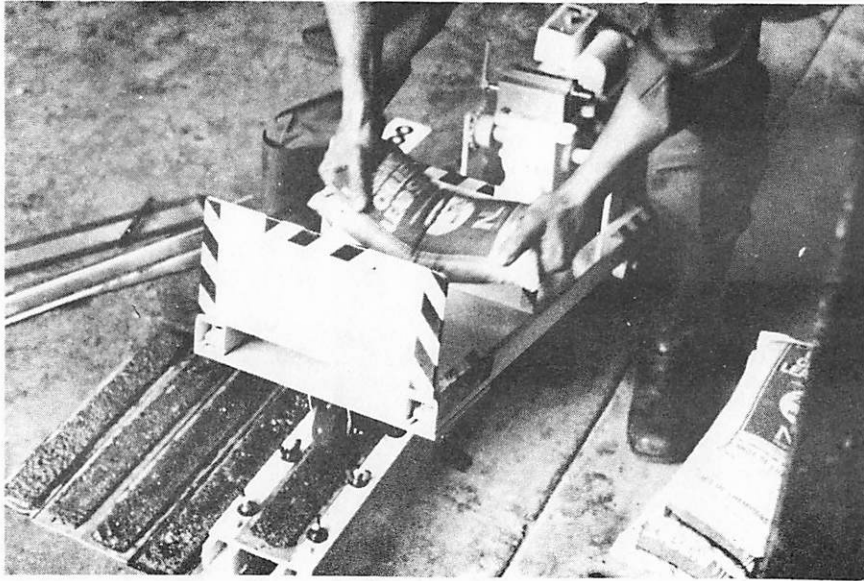


Fig. 5

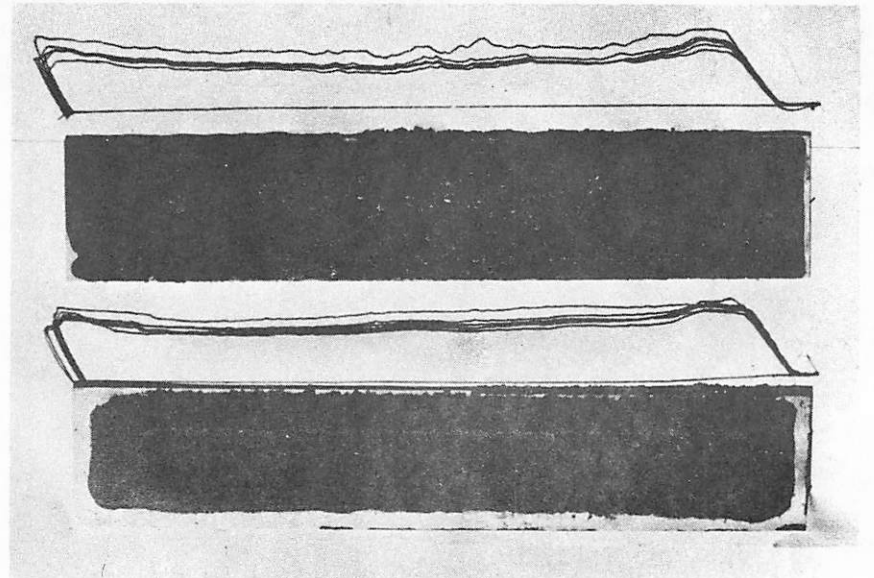


Fig. 6

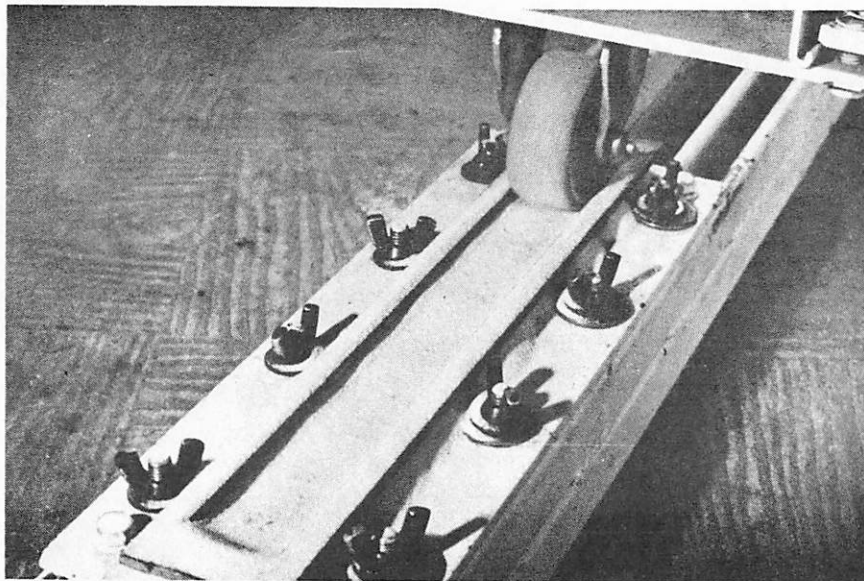


Fig. 7

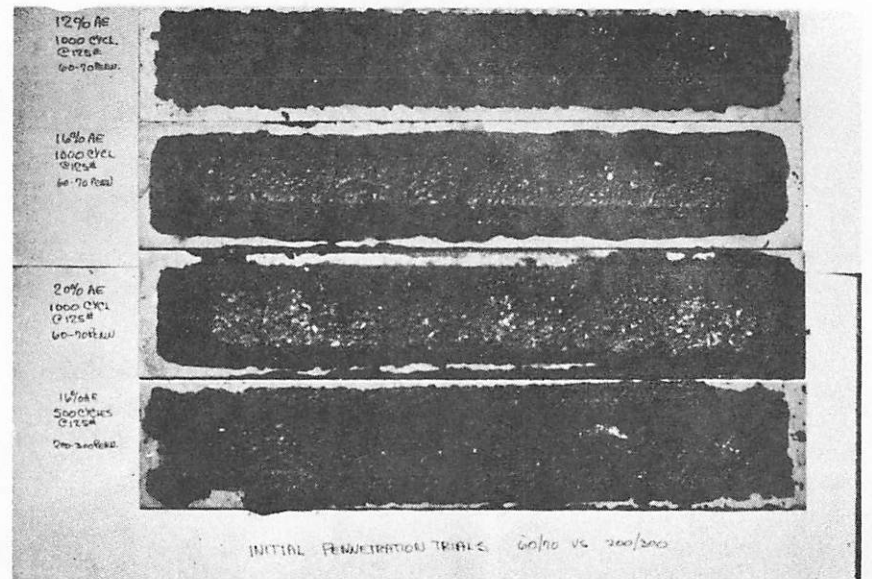
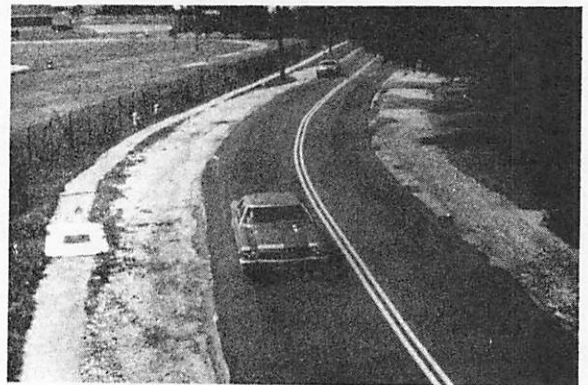
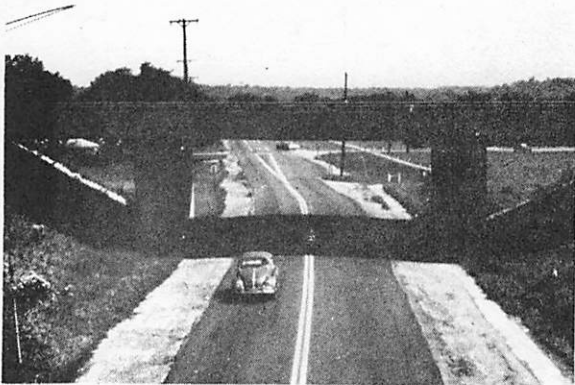


Fig. 8



ALEXANDERSVILLE-BELLBROOK ROAD SEPT. '74
WEST CARROLLTON, OHIO
19,000 ADT

Fig. 9

TABLE 1. FORMULATIONS FOR INITIAL LOADED WHEEL TESTS

AGGREGATE - AMERICAN AGGREGATES, XENIA, OHIO GRAVEL COARSE TYPE II, 4+
 ASPHALT EMULSION - CHEVRON, COLUMBUS, OHIO CATIONIC Q54 (CSSMA) 60/90 PENN 61% OAC
 CEMENT - SOUTHWESTERN PORTLAND FAIRBORN, O. AIR ENTRAINING

XENIA GRAVEL TYPICAL GRADATIONS (OHIO 703.10);
TYPE II, 4+ (1/4" COARSE) TYPE II, -4 (3/16" FINE)

	20%AE % Grms	18%AE % Gr.	16%AE % Gr.	14%AE % Gr.	12%AE % Gr.
AGG	100 300	100 300	100 300	100 300	100 300
PC	1 3	1 3	1 3	1 3	1 3
WATER	8 24	10 30	12 36	14 42	16 48
AE	20 60	18 54	16 48	14 42	12 36
LIQUID	28	28	28	28 SR	28 SR
AC %	12.1	10.9	9.7	8.6 Dry	7.1 Dry

% Pass	1/4	4	8	16	30	50	100	200
100	100	100	100	100	100	100	100	100
98.4	98.4	99.1	99.1	99.0	100	100	100	100
69.2	72.8	75.7	74.0	73.8	87.3	87.5	80.5	
44.8	49.7	51.2	50.0	49.8	60.1	58.0	52.3	
30.4	35.5	34.3	35.1	35.1	40.8	37.2	34.6	
21.8	26.3	24.1	26.5	26.5	29.6	25.5	24.5	
15.1	15.7	14.0	18.6	18.9	20.5	16.0	16.2	
10.0	10.4	7.9	12.1	12.2	13.1	9.4	10.2	

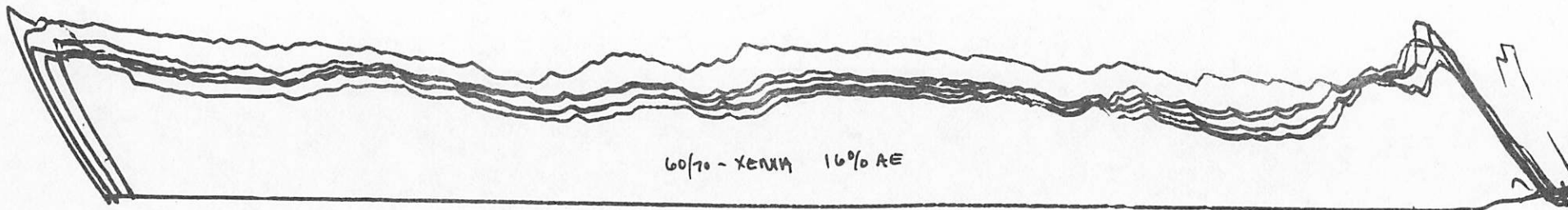
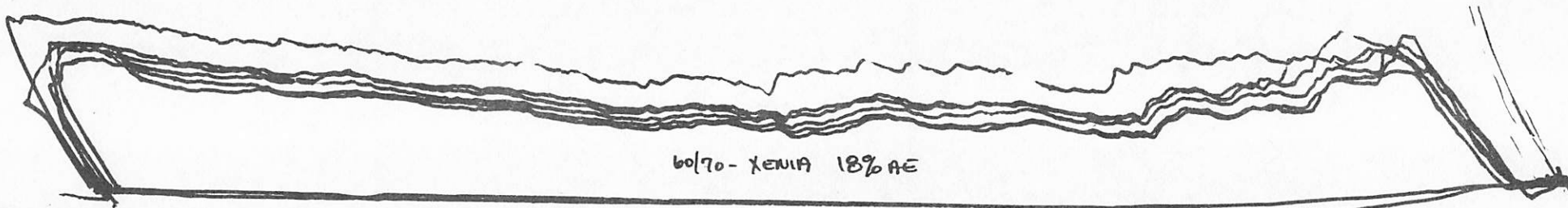
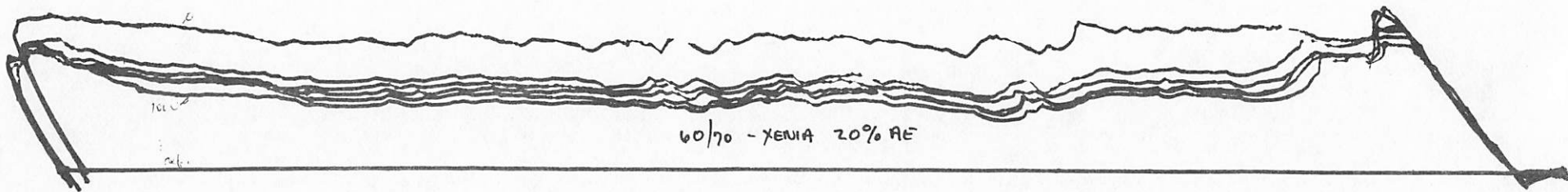
BROOKLYN, IND "HAYDITE" TYPE II, 4
EXPANDED CLAY/SHALE

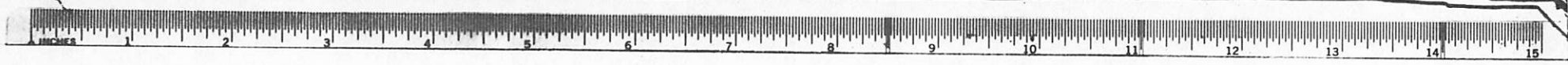
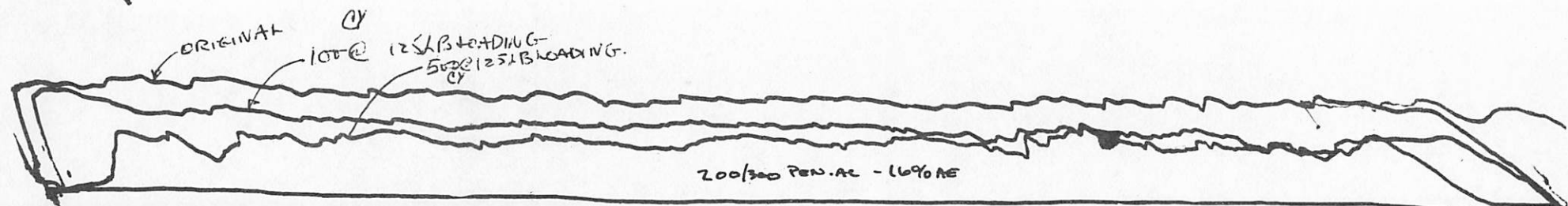
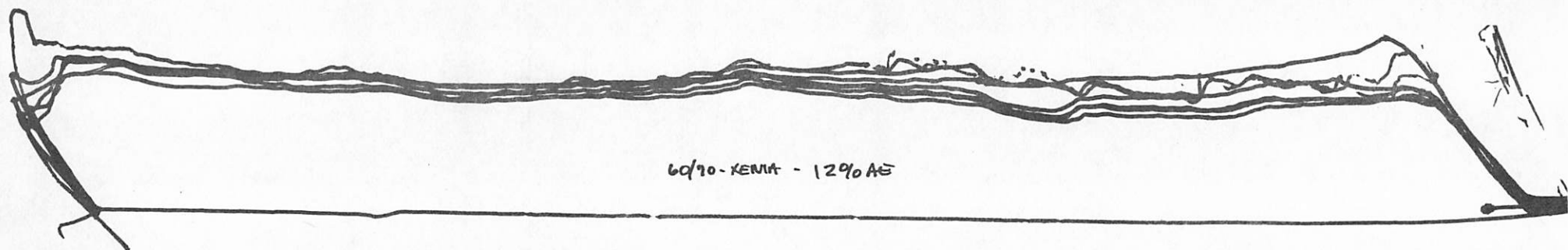
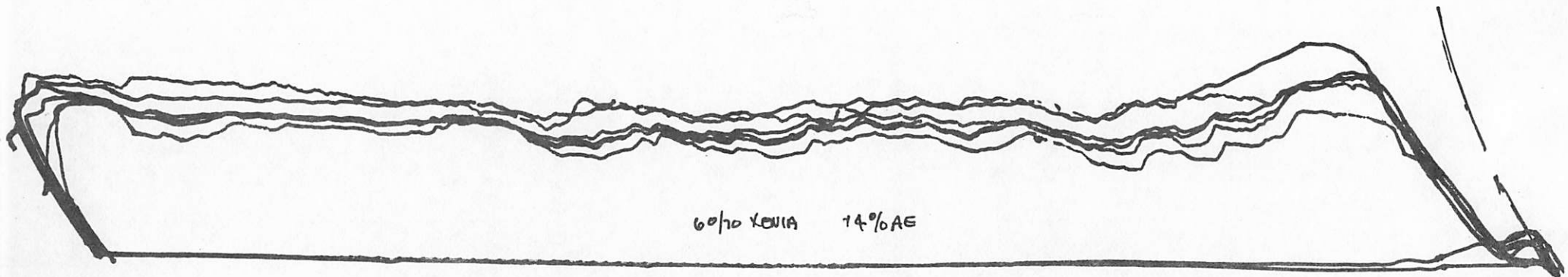
LAWRENCEBURG, IND. WET BOTTOM BOILER SLAG - 50%
A.M. AGGS. LAURA, O. DOLOMITE AGG LIME - 50% TYPE I, -5

	30%AE % Gr.	24%AE % Gr.	20%AE % Gr.	17%AE % Gr.	14%AE % Gr.
AGG.	66.6 200	66.6 200	100 300	100 300	100 300
PC	1.5 3	1.5 3	1 3	1 3	1 3
WATER	12 24	16.5 33	8 24	11 33	14 42
AE	30 60	24 48	20 60	17 51	14 42
LIQUID	42 Too Wet	41.5 Too Wet	28 SR Wet	28 SR Wet	28 SR Wet

GALLOWAY-JIMENEZ DATA:

	% DENSITY	% of Voids	g/cc	inert
WTRAL	36.8	1.48	100	
1 day	9.4	2.12	69.9	
7 days	6.4	2.19	67.6	
30	5.1	2.22	66.7	
60	4.7	2.23	66.4	
Theoret	-	2.34	63.2	





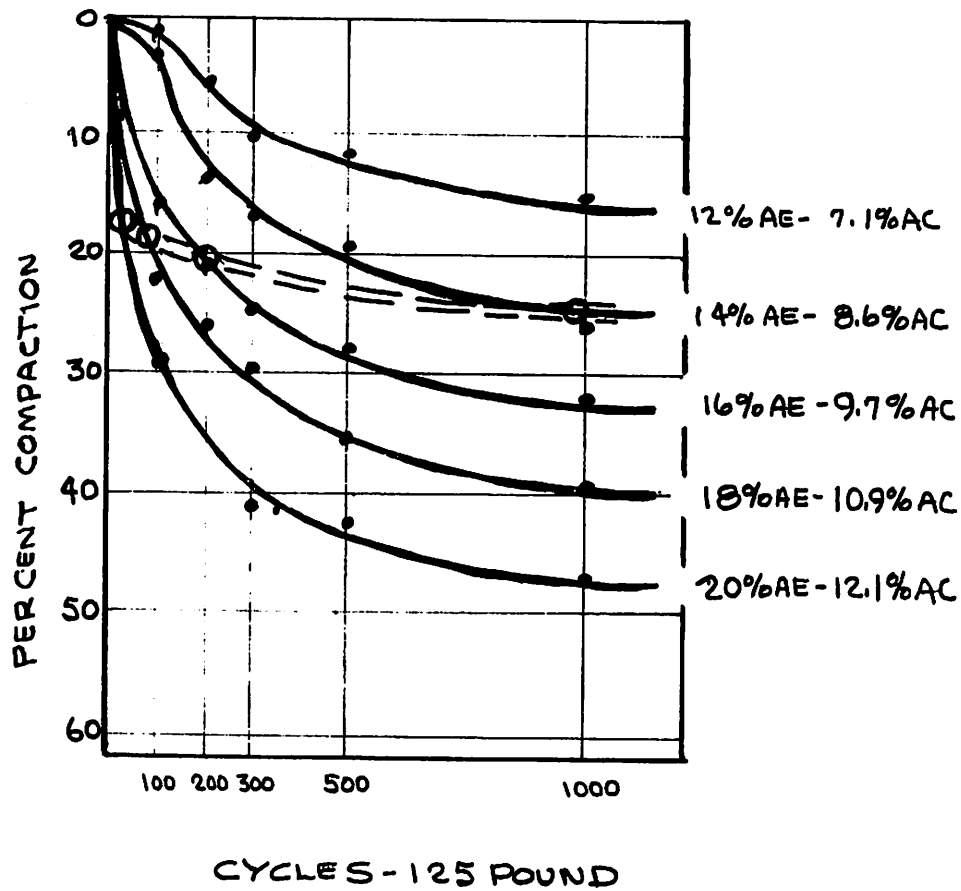


FIG 12a 125 POUND LWT COMPACTION CURVES - XENIA #4+ AGG. 60/70 PEN. ASPHALT

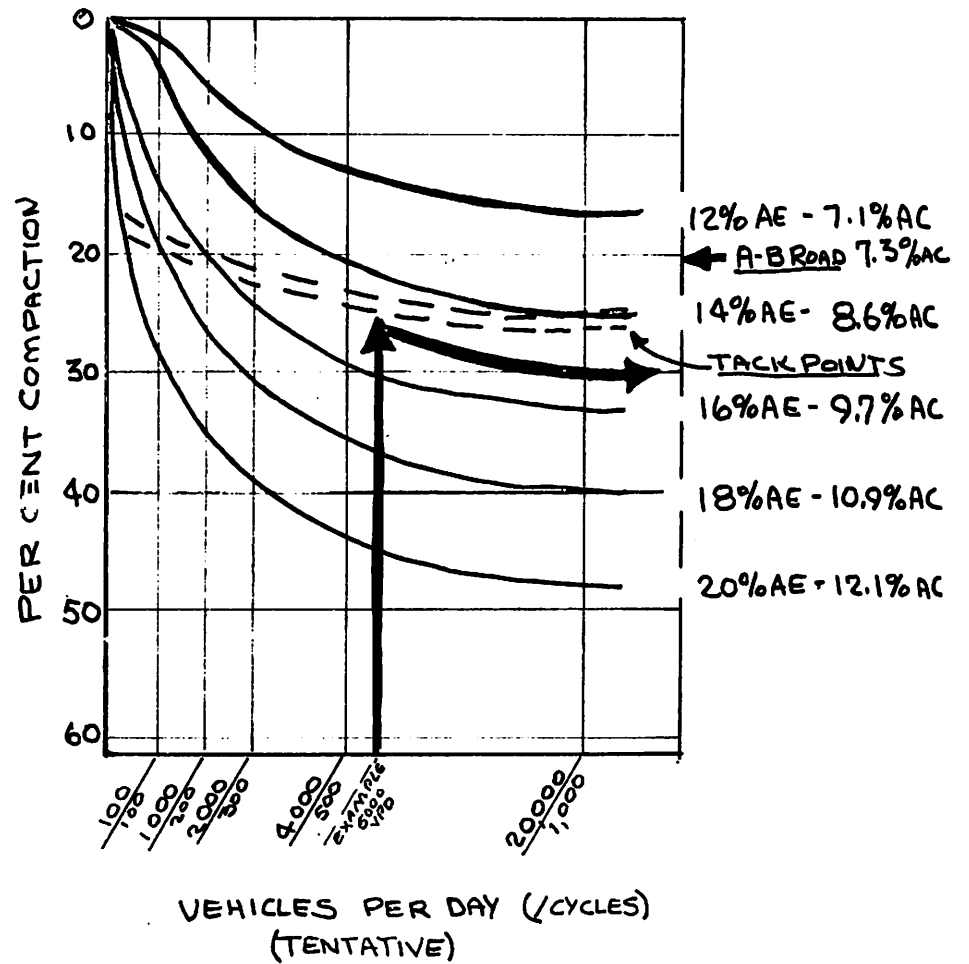


FIG. 12 b 125-POUND LWT COMPACTION TRAFFIC COUNT RELATION XENIA #4+ - 60/70 PEN AC (TENTATIVE VPD DESIGN)

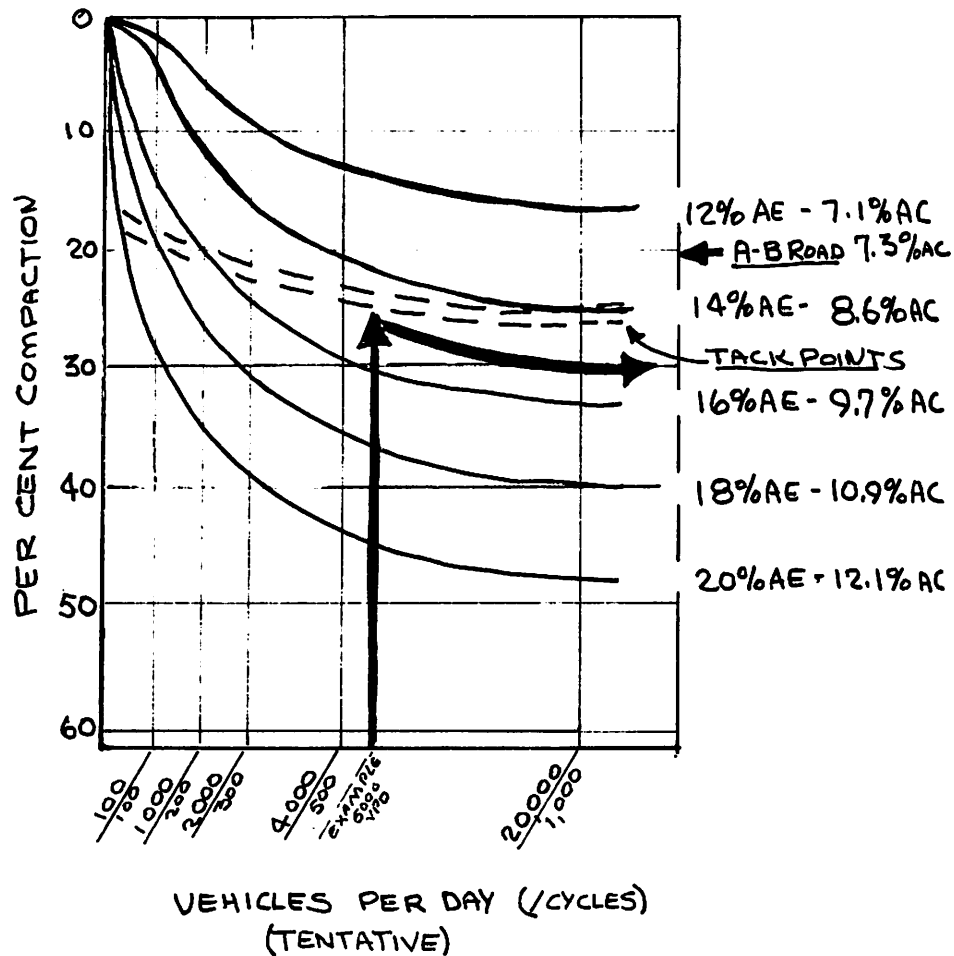


FIG. 12b 125-POUND LWT COMPACTION TRAFFIC COUNT RELATION XENIA #4⁺ - 60/70 PEN AC (TENTATIVE VPD DESIGN)

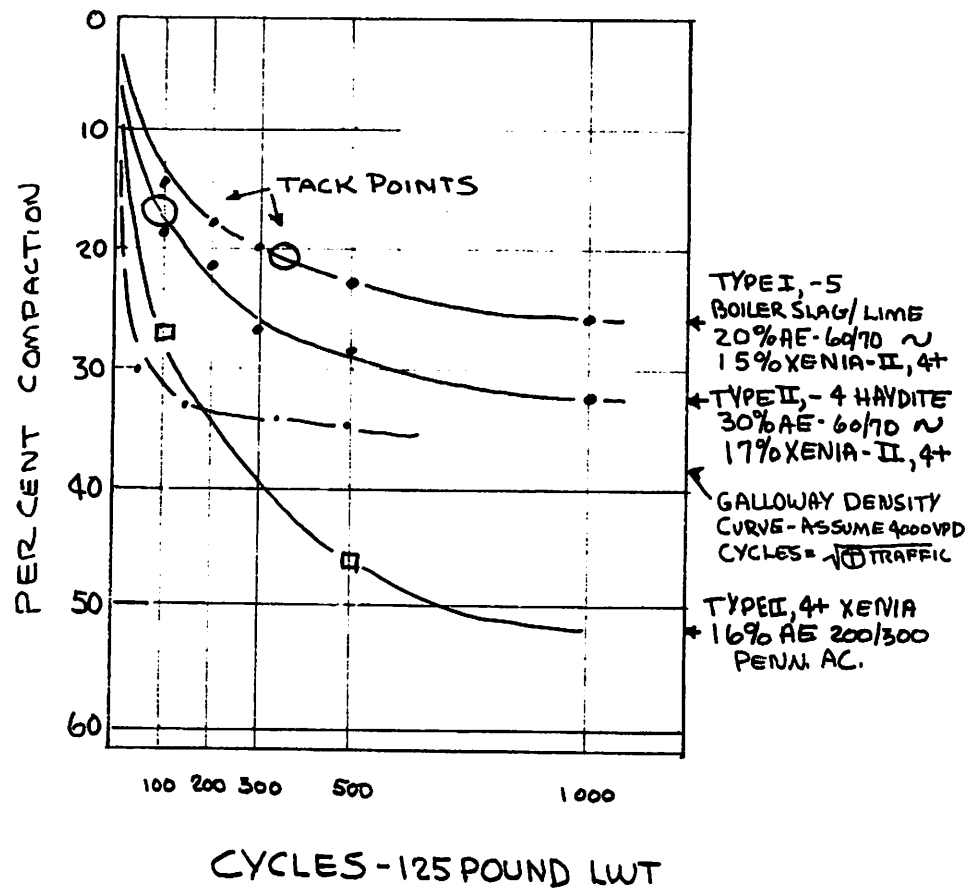


FIG. 12c LWT COMPARISON CURVES:

- BOILER SLAG-LIME BLEND - 60/70 PEN AC
- EXPANDED SHALE LITWATE 60/70 PEN AC
- XENIA GRAVEL - SOFT 200/300 PEN AC

GRAMS - 30 MESH OTTAWA SAND ADSORBED

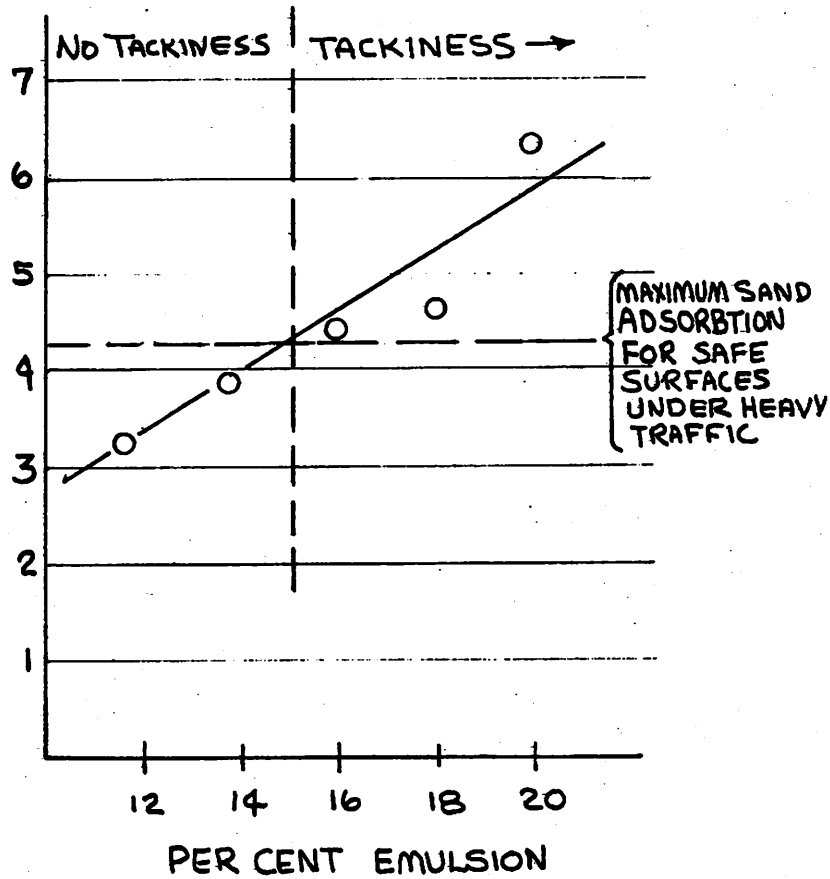


FIG. 13 EXCESS EXTRUDED ASPHALT BY HOT SAND ADSORPTION XENIA TYPE II, 4+ - 60/70 PENAC.

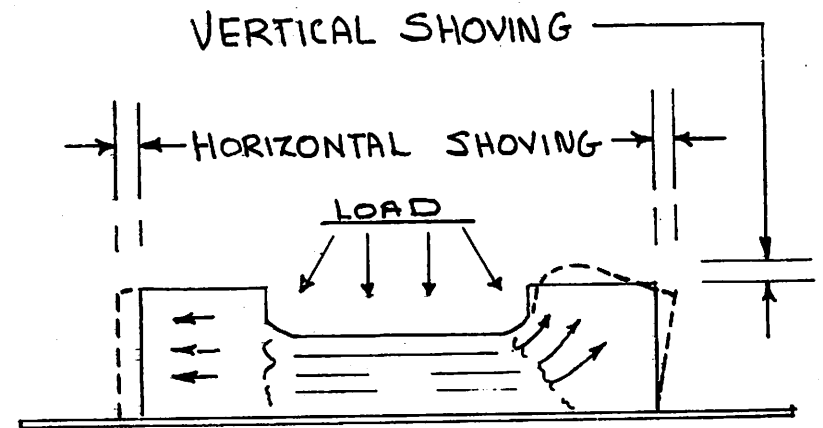


FIG. 14 PERIPHERAL DISPLACEMENT (SHOVING)

INTRODUCCION A LOS USOS POTENCIALES
DE UN ENSAYADOR POR RUEDA
CARGADA (LWT) PARA DISEÑAR
SLURRY SEAL SEGUN EL CALCULO
DE LA CIRCULACION

POR

C. Robert Benedict
BENEDICT SLURRY SEAL, INC.
320 Northview Road
Dayton, Ohio 45419

BORRADOR DE UN INFORME DE PRESENTAR AL COMITE
INVESTIGACION Y DESARROLLO DURANTE EL CONGRESO
ANUAL DE LA INTERNATIONAL SLURRY SEAL ASSOCIATION (ISSA)

LAS VEGAS, NEVADA 3-6 DE FEBRERO DE 1975

VERSION PRELIMINAR

PROHIBIDA LA PUBLICACION

INTRODUCCION

Las primeras pruebas de slurry seal desde 1953 (1) por lo menos han rendido bastante éxito para estimular adelantos en el arte. Las mezcladoras móviles han remplazado las amasadoras, las máquinas modernas de flujo continuo han remplazado los métodos de cochura. A medida que se mejoraba el maquinario, lo mismo ocurría con las técnicas de laboratorio para el diseño y la verificación por pruebas, hasta que hoy hay al menos cuatro instrumentos fundamentales para el diseño de la mezcla. Y son:

- (1) Probador de Abrasión en Pista Mojada (WTAT) según lo desarrollaron Kari y Coyne (2) de Chevron y extensamente empleado en la industria bajo la Guía de Especificaciones A-105, de la ISSA de febrero de 1972, y la adopción del cual actualmente está bajo consideración del Comité D4 de la American Society for the Testing of Materials.
- (2) Probador de Abrasión Usando Tubo Anular de Goma en Pista Mojada desarrollado por Slurry Seal, Inc., Waco, Texas, y empleado como método alternativo de diseño en las especificaciones de ISSA. Esta máquina se usó en las investigaciones de Harper, Jiménez y Galloway (3).
- (3) Probador con Pelotas de Goma, Arena y Agua Fría en una Lata en Oscilación Vertical según concebido por Skog y Zube (4), (5) y desarrollado por el fallecido Lynn Baldwin (6) de la Comisión de Carreteras de Kansas y es una parte de los procesos normales del diseño de slurry seal.
- (4) Probador del Ritmo de Abrasión Mediante el Impacto con Arena Mojada y Pelota de Acero según desarrollado por E. F. Flock (7) de Slurry Seal, Inc., Waco, Texas.

Los datos de las pruebas arriba indicadas se dan en pérdida total por unidad tiempo o en ciclos o razón de pérdida, y llevan una relación directa con el área de la superficie del agregado y del contenido residual de asfalto, es decir, cuanto más contenido residual en la mezcla, tanto mejor el

diseño del slurry. No se ha tratado en estas pruebas, de establecer criterios de diseño para carga de circulación menos que en Virginia (8) estado que fija no solo el límite máximo de pérdida de WTAT, sino también el límite mínimo.

El Dr. Flock nos informa que con un aumento de -200 mesh y un siguiente aumento de cemento de asfalto a menudo se obtienen resultados "mejores". Hutchinson y Rose (9) han mostrado como una sencilla compactación de una muestra de slurry reducirá dramáticamente la pérdida de WTAT. Estas observaciones dejan lugar de sospechar de nuestras técnicas de diseño formalistas cuando se sujetan a cargas pesadas de circulación.

Cuando se aplica circulación pesada al diseño "optimum" de WTAT, según comprendemos la costumbre actual, el riesgo de superficie con sobra de asfalto es grande y es posible que hayamos "diseñado" un pavimento deslizado. Hay casos (10), (11) en los que se han aplicado slurry seals excelentes por lo demás, bien dentro de los límites de especificación y diseño, pero que no han alcanzado sus mejores coeficientes de fricción a causa de un leve exceso de asfalto y el constituyente sangrar o "flushing" bajo cargas de circulación pesadas.

La meta de la economía sugiere el uso de aplicaciones relativamente tenues de slurry, pero las mezclas densas menudamente graduadas a pesar de ser impermeables dejan lugar a dudar por ser propensas a ponerse resbaladizas. Y no obstante estamos al tanto de muchos éxitos sobresalientes de slurry seal tal como el relato de Dallas según presentado por Starek (12) y otros.

El slurry de bajo contenido de asfalto normalmente sale bien en cuanto a la resistencia al patinazo pero puede ser poco duradero. Los contenidos de muchos vacíos pueden al mismo tiempo acortar la vida de cualquier pavimento de betún (13) y contribuir a la buena resistencia al patinazo.

McLeod (14) sugiere que los contenidos de muchos vacíos acompañados de gruesas películas de asfalto producen una vida o durabilidad óptima, pero las gruesas películas de asfalto también pueden aumentar el riesgo de sangrar y de pérdida de resistencia al patinazo.

Para resolver estos problemas lo mejor posible, y como inicio hacia una técnica racional de diseño para cargas de circulación pesadas, yo quisiera presentar un nuevo dispositivo para la simulación de circulación en el laboratorio, dispositivo al que doy el nombre de Ensayador a Rueda Cargada o (LWT). Mediante el uso de este instrumento podemos aprender a pronosticar los efectos de la circulación pesada (torcer, frenar acelerar,

camiones, cuentas diarias del número de vehículos, etc.) y de tal modo, seleccionar los mejores diseños de slurry para conseguir las metas de largo plazo, la economía, la durabilidad y la seguridad.

DESCRIPCION DEL LWT Y MODO DE USAR

(Fig.1) El LWT que se ve consiste en una ruedecilla de caucho blando Bassick número 180, de 1 pulgada de ancho y 3 pulgadas de diámetro, montada en un armazón Unistrut P-1000. Las dimensiones son de unas 48 pulgadas de largo, 14 de ancho y 16 de alto. Una caja en la que quepan sacos de perdigones de plomo, cada uno de 25 libras, está montada encima de las varas de la rueda para cargarla. La rueda cargada va encima de un espécimen de slurry cuyas dimensiones son 1/4 de pulgada de alto, 2 de ancho y 14 de largo, y es empujada por una carrera recíproca de 12 pulgadas por un motor de 1/4 de caballo, 1750 RPM, reducido 40:1 para dar 44 ciclos por minuto, o 1.000 ciclos en 24 minutos. Un contador Veeder Root está montado encima del reductor.

(Fig.2) Un "Perfilógrafo" 10:1 según Jerry Rose se muestra para la medición de la deformación de la superficie durante la prueba. No se muestra ningún dispositivo para la medición para el desplazamiento lateral.

(Fig.3) Se echan muestras de 1/4 de pulgada por 2 pulgadas por 15 pulgadas en una hoja galvanizada número 20 de grueso por 3 pulgadas por 16 pulgadas usando un armazón de acero o molde. Bastan 300 gramos de agregado. Se deja secar el slurry al aire hasta llegar a peso constante antes de ensayar.

(Fig.4) Primero se hace una perfiladura en blanco para establecer una línea de base. Después se monta el espécimen y el "perfilógrafo" traza la superficie del slurry antes de iniciarse la prueba.

(Fig.5) Entonces se coloca la ruedecilla y se carga con 125 libras de perdigones de plomo.

(Fig.6) Se corren 100 ciclos con la rueda cargada; se quitan los perdigones y la rueda y se traza una perfiladura. Se repite este proceso a los 200, 300, 500 y 1.000 ciclos.

En cierto punto se podrá notar una pegajosidad audible acompañada de un brillo visible y una tendencia de la rueda a pegarse al exceso de asfalto estrujado. Este punto lo llamo "punto de pegajosidad." A este punto es necesario mojar ligeramente la superficie para impedir que se rasgue el ejemplar.

(Fig.7) Después de corridos todos los ejemplares de una serie, se les lava el polvo si es necesario. Se secan al aire y se pesan. Luego se monta un marco para arena arriba del ejemplar y se llena el marco de arena Ottawa Silica, 30 mesh, lavada, secada y calentada hasta los 140 grados F. e inmediatamente

compactada por 100 ciclos de la rueda cargada. Se quita el ejemplar, se le lava la arena suelta golpeándolo suavemente y se pesa. El aumento de peso se registra como medida del exceso de asfalto por absorción de arena, (sand number).

(Fig. 8) Muestra una foto de una serie después de 1000 ciclos.

ESTUDIO DE UN CASO DEL USO DEL LWT
Carretera Alexander-Bellbrook, West Carrollton, Ohio

Idealmente la obra del laboratorio debería de hacerse antes de las pruebas en el terreno, pero en este caso, el trabajo se hizo primero en el campo, por cálculo estudiado, y el trabajo del laboratorio se hizo después.

A causa de que la carretera A-B es muy recorrida, y en vista de mi preocupación con las consecuencias, siendo yo el contratista, empleé a nuestro laboratorio de pruebas local, Bowser-Morner Testing Labs, para poder al menos aprender algo de cualquier errores que pudiéramos cometer. La única guía que teníamos era nuestra extensa experiencia anterior con nuestra grava de Xenia y la certeza de que nuestro diseño standard resultaría demasiado rico para las condiciones. Los resultados están adjuntos en el apéndice.

Se aplicaron 14,3 libras de slurry catiónico de fragua rápida a unos 4.000 pies de la carretera A-B. Las anchuras variaron de 22 pies a 34 pies. La obra se terminó el 13 de julio de 1974. La carretera A-B es un enlace principal entre la carretera federal número 75 y la carretera estatal (Ohio) número 741 y sostiene cada día 19.000 vehículos (VPD) con 10% de camiones. Hasta el 15 de enero de 1975 han pasado 3.500.000 vehículos sin dificultad mayor. Las pruebas de resistencia al patinazo deberán de empezar en un par de meses, dirigidas por el personal de investigación del Departamento de Transportes de Ohio.

Fig. 9 muestra una sección de la carretera A-B al punto donde pasa delante de la escuela secundaria de West Carrollton. Se sacó esta foto desde el viaducto de la carretera federal 75 y es típico de la circulación que allí se encuentra.

Para comparar los datos de la aplicación y los datos de la prueba en el terreno con nuestro LWT, preparamos 5 ejemplares empleando la misma grava glacial de Xenia, tipo II, gradación gruesa y emulsión de asfalto a niveles del 12%, 14%, 16%, 18% y 20% de emulsión respectivamente. Las formulaciones se muestran en Cuadro 1. Los ejemplares se sujetaron cada uno a 100, 200, 300, 500, y a 1.000 ciclos del LWT a 125 libras y al fin de cada periodo se trazó una perfiladura.

Fig. 11 muestra las perfiladuras de estos ensayos. Se midió cada perfiladura en tres puntos y se dispusieron las cifras en cuadros como se ve en Cuadro 2. Se indicaron los puntos de pegajosidad y se construyó el cuadro según se ve en Fig. 12. Interesa notar que aparece un patrón (modelo) claro. Fig. 13 muestra los gramos de arena absorbidos por el exceso de asfalto estrujado. He trazado la línea del punto de pegajosidad, la que indica que arriba de los 4,25 gramos de absorción, probablemente se verificará pegajosidad. Fig. 14 muestra los desplazamientos laterales y verticales que podrán verificarse pero los que no hemos considerado en este informe.

Sobreponiendo los datos del terreno en la Fig. 13, a esta fecha conocemos por lo menos un diseño correlativo que es satisfactorio para circulación pesada a modo de 20.000 VPD. Hará falta mucho más estudio para establecer otros diseños para calcular la circulación.

USOS POTENCIALES DEL LWT

Los usos inmediatos del LWT según se presentan en este informe son:

1. Cierre de vacíos y contenido por "perfilógrafo"
2. Compactación, desplazamiento lateral y distorsión plástica por perfiladura y medidas laterales
3. "Flushings" visuales (visibles)
4. Pegajosidad audible o sangrar-punto de pegajosidad
5. Medida de exceso de asfalto estrujado por absorción de arena caliente

Se sugiere además los siguientes usos:

6. Permeabilidad de agua salada y facilidad de sellar ejemplares compactados y no compactados mediante estudios de resistividad
7. Absorción de agua por aumento de peso y peso específico
8. Estudios de congelación-deshielo
9. Fuerza de deslizamiento y adhesión a la capa inferior
10. Estudios de cansancio y pliegue montando el ejemplar en una almohadilla de goma
11. Estudios de compactación mojada y abrasión
12. Ritmo de desgaste por rueda cerrada, zapata mojada, o rueda sesgada en caja de arena mojada
13. Valores relativos de fricción sesgando la rueda y observando las medidas del amperaje
14. Estudio de efectos de circulación en gradaciones no ideales o gradaciones de vacíos
15. Estudio de efectos de circulación en varios llenadores, polvos finos plásticos, o polvos finos de área de alta superficie y equivalentes de arena
16. Comparación entre slurry de una capa y de varias capas
17. Estudio del llenar de grietas y de la eficacia de varios slurries y llenadores de grietas

VARIABLES

Los variables que pueden influir en los resultados de las pruebas hechas en el LWT y que no hemos considerado en este relato preliminar son por lo menos los siguientes:

1. Temperatura. Las tiradas de que hablamos aquí se hicieron a los 70 grados F. \pm 5 grados F. Las tiradas probablemente deberían hacerse a las temperaturas que se encuentran en el momento de aplicar el slurry a la carretera, temperatura, digamos, de 100 grados F. \pm 5 grados F. Habría que tener en cuenta la variación de temperatura día-noche, las temperaturas estacionales, y la variación en la densidad de la circulación.
2. Carga. La carga de la rueda empleada aquí fue de 125 libras y representa por lo menos el doble de las cargas que se experimentan normalmente en circulación. Según indicaciones subjetivas, con el doble de cargas de rueda, el número de ciclos del LWT se aproxima a la raíz cuadrada de la cuenta acumulada de la circulación; eso es, con carga de 125 libras, 1.000 ciclos del LWT representan un millón de pasos de vehículos.
3. Desplazamiento. El desplazamiento lateral y vertical de la periferia del ejemplar se debe observar de cerca. A cierto punto, el slurry en la carrilera se pondrá bastante denso para resistir más compactación, y mediante un "movimiento plástico" o "escurrimiento" forzará un movimiento, claro y mensurable, de la periferia, o la parte no pisada del ejemplar. Este movimiento debería indicar el punto de máxima compactación.
4. Análisis de fuerza. Se debe examinar el análisis de las variaciones efectivas de las fuerzas trasladadas por la oscilación del centro de gravedad de la carga sobre el pivote de la ruedecilla, como también el cambio de dirección y la aceleración de la carga en cuanto al efecto que puedan tener estas variaciones en la lectura de los perfiladuras en el desplazamiento periferal, y en las variaciones en la efusión del exceso de asfalto.
5. Forma del relieve de la llanta. El relieve de la llanta en sección transversal era levemente convexo en el centro y redondeado en los bordes más bien que paralelo y conforme con el eje. Se debería probar una sección transversal cuadrada.
6. Anchura de llanta. Puede que sea deseable usar una llanta levemente más ancha que el espécimen, de manera que se note solo el desplazamiento lateral, evitando así la necesidad de combinar y de medir el desplazamiento vertical y el lateral.
7. Espesor del ejemplar. Se fijó el espesor del espécimen arbitrariamente en 1/4 de pulgada el que a 15 libras por yarda cuadrada de peso seco de agregado sería a eso del 15% o 20% más del que se experimentaría en el terreno por una gradación gruesa tipo II. Esto podría dar valores un poco más elevados de absorción de arena, sobre todo porque el ejemplar se aplica a una superficie lisa y no absorbente.
8. Rueda mojada. El añadir agua a la llanta y al ejemplar después de notarse el punto de pegajosidad, en algunos ensayos estimuló la abrasión y la distribución de algunos polvos finos de menos - 200 desgastados que se incrustaron en el asfalto estrujado y podrá haber influido en el número de la arena (sand number). Será necesario inundar el ejemplar durante el ensayo para continuamente enjuagar estos polvos durante la tirada a compás que se producen para obtener números reproducibles de absorción de arena.
9. Punto de pegajosidad. A lo mejor, la determinación del punto de pegajosidad es algo subjetiva. La desigualdad en la preparación del ejemplar, la limpieza en la huella de la llanta, y el inicio de la pegajosidad a un extremo del ejemplar en vez que uniformemente en todo lo largo del espécimen son variables.
10. Variables en el terreno. Las variaciones en la estación de aplicación, la contaminación ambiental, cantidad de lluvia, ritmo de desgaste de los agregados, oxidación y el endurecimiento de películas superficiales de asfalto complican la correlación de los datos del terreno con los del laboratorio.
11. Características del agregado. La gradación puede tener mucha importancia en poder mantener un espesor de película más favorable sin excesiva efusión; eso es la proporción fracción gruesa - fracción fina (porcentaje retenido en el cedazo y porcentaje que pasa por 100, 200, y 325) como también el equivalente de arena del agregado total y el área de la superficie - 325 pueden hacer un papel importante en el movimiento plástico y la deformación y efusión de polvos finos densamente asfaltados hasta la superficie.

La resistencia y los ritmos de desgaste de insolubilidad deida también pueden tener mucha importancia en la estabilidad del slurry. La densidad, los vacíos en el agregado mineral y los vacíos totales también pueden ser variables importantes.

12. Tamaño de las partículas. La distribución del tamaño de las partículas de emulsión de asfalto y/o la actividad química (Potencial Zeta) puede influir en la uniformidad del revestimiento y así en el efecto "lubricador" de las características de deformación de un ejemplar.
13. Penetración de asfalto. La rigidez, la ductilidad, la penetración, y la viscosidad a las temperaturas empleadas en el ensayo pueden cambiar de mucho los resultados.
14. "Perfilógrafo." Hay que emplear el "perfilógrafo" con cuidado. Otro diseño quizás resultaría más eficaz.
15. Moción recíproca. El diseño recíproco del LWT usado en este relato evidentemente no duplica el movimiento de la circulación. Será necesario diseñar un LWT rotativo, o de dirección única para simular la circulación con más exactitud.
16. Rebote. El rebote elástico que podrá verificarse después de cada paso de rueda, y el tiempo necesario, no se han considerado aquí, pero en la práctica podrán tener gran importancia en la exactitud de los resultados.

OBSERVACIONES COMENTOS Y TEORIA PRESENTADOS PARA LA CRITICA

Teniendo presente las condiciones y los materiales usados en la preparación de este informe, mi experiencia preliminar sugiere las siguientes hipótesis:

1. Hay una "curva de compactación" clara y reproducible, producida por el LWT según medida por el "perfilógrafo."
2. Hay un ritmo inicial de compactación proporcional al contenido asfalto del ejemplar.
3. Cuanto más aumentan los ciclos de compactación, tanto más disminuye el ritmo de compactación hasta que queda independiente del contenido asfalto (a 600 ciclos más o menos.)
4. Llegado a cierto número de ciclos en los ejemplares más ricos, se notará una pegajosidad audible debida al exceso de asfalto que se está estrujando al punto de contacto del slurry con la llanta. Este "punto de pegajosidad" ocurre en proporción a la cantidad del exceso de asfalto en el ejemplar y podrá indicar que casi todos los vacíos están llenados.
5. En los ejemplares menos ricos no se llega al punto de pegajosidad hasta que hayan pasado un gran número de ciclos. Y en los aun menos ricos no se llega a ningún punto de pegajosidad, indicando que no todos los vacíos están llenos de asfalto.
6. La cantidad de exceso de asfalto estrujado se puede medir por absorción de arena caliente. No hay pegajosidad hasta como los 4 gramos de absorción. Arriba de los 4 gramos de absorción se verifica la pegajosidad y se puede experimentar un pavimento "flushed" o sangrado.
7. Usando el mismo asfalto, toda mezcla de slurry de agregado de grado denso seguirá esta curva o podrá ser sobrepuesta en esta curva, como también los valores de absorción de arena y punto de pegajosidad. Pero la escala del contenido asfalto residual cambiará para acomodar la gradación agregada y el área de la superficie.
8. Se sabe después de la experiencia efectiva en la carretera A-B que el diseño aplicado inclusive el 7, 7% de contenido de cemento asfalto es satisfactorio para los 19.000 VPD, 10% camiones del cálculo de la circulación. También se sabe de mucha experiencia en calles residenciales que una emulsión

del 19% al 20% (11, 5% a 12% contenido cemento asfalto) es satisfactoria, aunque un poco rica para cuentas de 100 VPD. De estas observaciones se concluye que 100 ciclos del LWT a 125 libras pueden aproximar a 100 VPD y 1.000 ciclos del LWT a 125 libras pueden igualar a 20.000 VPD. Haciendo un cálculo aproximado de una escala casi-semi-logarítmica entre estos valores, sale la siguiente correlación tentativa LWT-circulación:

<u>Ciclos LWT a 125 libras</u>	<u>Cuenta circulación VPD</u>
100	100
200	1.000
300	2.000
500	4.000
1.000	20.000

Trazando la anticipada cuenta de circulación en la curva de compactación verticalmente hasta la línea del punto de pegajosidad, se puede leer el máximo permisible del contenido cemento de asfalto residual. Se puede anticipar en los casos de contenidos de cemento de asfalto residual arriba de estos valores, que habrá "flush" o sangrar.

(Cuidado: los valores de cemento de asfalto en la gráfica tienen que ver sólo con la gradación gruesa de Xenia y se deben cambiar por cada gradación distinta.)

9. Los valores de compactación, escalas de calificación y técnicas de diseño del pasado pueden ser discutibles.
10. Solo mediante el estudio minucioso y el análisis crítico serán probados, refutados o mejorados estas hipótesis y observaciones. La highway Equipment Company, de Cedar Rapids, Iowa, y Bithcote Products, Inc., St. Louis, Missouri, y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE UU, Vicksburg, Mississippi, han ofrecido ayuda provisional en las continuas investigaciones aquí sugeridas. Tengo la seguridad de que los que hacen parte de este comité también ofrecerán su ayuda.

Quisiera dar las gracias a los del comité por haberme animado a iniciar este proyecto, y sobre todo quisiera señalar al señor Al Day de Bithcote Products por su administración de los asuntos del comité.

C. Robert Benedict

NOTAS

1. "It's Really New: It's a Premixed Slurry for Patching and Sealing Roads", Western Construction, April, 1955, pp 25-27.
2. Kari, W. J. & Coyne, L. D. "Emulsified Asphalt Slurry Seal Coats", Proc. AAPT, Vol. 33, pp 502-537, 1964.
- 2a. Kari and Coyne "Emulsified Asphalt Slurry Seal Coats", Chevron Asphalt Technical Paper 125, Feb. 17, 1964.
- 2b. Paul McCoy, L. D. Coyne, "The Wet Track Abrasion Test", Chevron Asphalt Technical Paper 127, presented to the Road and Paving Materials Session, ASTM, Chicago, Je '64.
- 2c. Paul McCoy, "Wear Testing Slurry Seals by the WTAT Procedure", Proc ISSA Conv., San Francisco, Feb. '68.
3. William J. Harper, Rudolph A. Jimenez and Bob M. Galloway, "Effects of Mineral Fillers in Slurry Seal Mixtures", Paper sponsored by the HRB Committee on Bituminous Surface Treatments (HRB REC 104-1965).
4. Zube, E., "Studies on Water Permeability of Asphalt Concrete Pavements", Proc 4th. Annual Highway Conf., Univ. of the Pacific, March, 1961.
5. J. Skog & E. Zube, Proc of AAPT, Vol. 32, pp 380-411, 1963.
6. Comunicación personal de Bud Clovis, Ballou Construction Co., Salina, Kansas, inclusive fotocopias de la Comisión de Carreteras de Kansas, (1) Método de Ensayo para determinar abrasión superficial de slurry seal preparada en laboratorio (según desarrollado por Lynn Baldwin), (2) Cálculo de diseño de mezcla de slurry seal - método área superficial, (3) Proceso para el diseño de slurry seguido por la Comisión de Carreteras de Kansas.
7. Ernest F. Flock, "A Shaker Method for Evaluating the Quality of Cured Slurries", Slurry Seal, Inc., Waco, Texas. Undated paper (ca. 1971) 54 pp.
8. Virginia Department of Highways "Special Provisions for Emulsified Asphalt Slurry Seal, Jan., 1974, revised Apr. '74".
9. John W. Hutchinson and Jerry G. Rose (Univ. of Kentucky), "Skid Resistant Slurry Seal" Paper presented to ISSA work shop seminars Apr. '68, Hershey, Pa., Washington D.C., Columbus, Ohio.

10. Phillip J. Arena, Jr., "Field Evaluation of Skid Resistant Surfaces", Louisiana Department of Highways Research Report, No. 47, June 1970, pp 9, 23, 26.
11. Memorandum del Departamento de Transportes de Florida, el 12 de noviembre de 1971, "...En las sobredichas secciones de la calzada donde hay evidencia de sangrar se encontraron algunos coeficientes de fricción abajo de 20, el promedio para toda la sección era 34. Aquella parte del pavimento donde había evidencia de sangrar resultó muy resbaladiza y podría ser muy azarosa para la circulación.
- 11a. Florida DOT interdepartmental memo, Jan.27, 1972, reports Charlotte County Airport Slurry SN's 40 of 76 to 81
12. John M. Starek, "Slurry Seal (an accident reducing material)", paper presented to ISSA Conv., New Orleans, Feb. '72.

Also: John M. Starek, "Curb Accidents with Slurry Seal", The American City, March, '72.
13. James M. Roberts and William H. Gotolski (Penn DOT), "Pavement Asphalt Properties and Pavement Durability", Paper presented to TRB, January, '75.
14. Norman W. McLeod, "Designing Standard Asphalt Mixtures for Greater Durability", Paper presented at the Canadian Technical Asphalt Assn. Mtg. Montreal, Nov., '71.