MECHANICAL INSTALLATION OF CONCRETE BLOCK PAVERS [1] [2]

Martin PROBST
General Manager
PROBST HANDLING AND LAYING SYSTEMS GmbH
Erdmannhausen, Germany

1. INTRODUCTION

In the course of rationalizing and making the installation of concrete pavers more human, the use of laying machines is becoming more and more important. In an increasing market for pavers, it is important to take over the other paving methods with profitable laying, such as poured concrete and asphalt pavement; so mechanical installation can have a speeding function and economic return.

Beside of this economical aspect the human aspect should absolutely be taken into consideration for making up decisions, whether to lay pavers by hand or to lay them by means of a machine. The fact that a hand installer has to carry between 7 and 10 t of material each day should make mechanical installation absolutely necessary on a large site. As far as the mechanical installation replaces the physical stress, it also requires higher efforts concerning site organization, product quality and some other things. The task of this paper is to give tips for an economical use of mechanical installation.

2. METHOD OF THE MECHANICAL INSTALLATION

There are different steps of mechanization in installation of concrete block pavers depending on different factors such as:

1. Size of job site.
2. Availability of paver cubes.
3. Local labor costs.

With this in mind, one of the following mechanization methods can be chosen:

2.1 MECHANIZATION OF SITE TRANSPORTATION

Defining the installation of concrete block pavers as the process to get the pavers from the site stockyard to the final position on the laying course, investigations have shown clearly that the actual transportation to the laying front is a major part of the whole process. Subsequently this is the first task to be addressed.

2.1.1 FORKLIFT TRANSPORTATION

Transportation of the cube of pavers by means of a forklift or similar, directly to the laying front should not be used, because the heavy equipment will damage the uncompacted pavement surface.

2.1.2 PALLET CART TRANSPORTATION

Pallet carts are the first step into the mechanization when the pavers are packed on pallets (Figure 1). These pallet carts need to have large wheels in order to get:

1. Better load distribution and
2. Better maneuverability on uneven ground.

They can always be pulled by hand along the laying front and the pavers can be taken from the pallet cart and laid directly without the need of carrying them for a long distance.

2.1.3 PAVER CART TRANSPORTATION

Paver carts can pick up one vertical row of pavers from the ground or even from the pallet and transport them to the laying face. Therefore they can be used for palletized or not palletized cube of pavers (Figure 2).

Tests have shown that one operator with a paver cart can feed three installers. For comparison, when using a standard wheelbarrow for transportation, two operators with wheelbarrows are needed to feed one installer.

Proper paver carts do not require vertical steel strapping. They are able to squeeze the bottom row of pavers strong enough to serve as pallets for pavers above the bottom row.

2.1.4 MOTORIZED PAVER CARTS

Specially designed motorized vehicles, carrying a hydraulically operated attachment to pick up one vertical row of pavers, are recommended for large hand installation sites as well as for sites with steep slopes. Proper vehicles have a suitable steering axis to avoid the shifting of the uncompacted pavers during steering actions.

2.2 MECHANICAL INSTALLATION WITH LAYING CLAMPS

Instead of placing paver after paver at its final position on the laying course, the mechanical installation uses a special grab which is mounted to a engine driven carrier to pick up a whole layer from the pallet and to install this whole layer at its final position on

---

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.

the laying course. It is very important that the layer is compressed from four sides when taken off the pallet to avoid any gaps between the single pavers (Figure 3).

To allow an installation without any short gap to the already installed pavers the layer of pavers has to be picked up in the middle of the thickness of the pavers when using a squeezing clamp for installation. When the squeezing clamp is opened, the paving blocks slide down the remaining approximately 30 mm until they are bedded on the laying course.

2.2.1 COMMON INSTALLATION TECHNIQUE

When the hydraulic installation clamp opens to lay down the paving blocks, the blocks support themselves on the top edge, gap on their bottom edge and thus form a gap on this bottom edge.

As a matter of fact, the blocks cock due to the friction against the already installed paving locks. All blocks are pushed towards the open screed. The cocked blocks have to be forced down manually to the ground (Figure 4).

This simple, physical explainable fact makes it necessary that the paving blocks have to be adjusted by hammering them together.

Unfortunately, by hitting the paving blocks towards the installed blocks, sand builds up in the joints and thus a precise joint is no longer possible.

The final results of this **common** installation technique are:

1. No straight lines.
2. Joints are too tight, breakage of the blocks.
3. Unequal joint distances.
4. Lot of labor required to straighten the pavement.

2.2.2 IMPROVEMENTS ON PAVER LAYING CLAMPS – PUSHING - OFF TECHNOLOGY

An additional device to the laying clamp was developed in order to avoid the cocking of the blocks when the clamping pressure is released. The blocks are pushed down by a spring-loaded bar onto the laying course (Figure 5).

The final results of this **new** installation technique are

1. Exactly installed pavers, no correction required.
2. No labor intensive hammering after the installation.
3. Equal joint distances.

2.3 MECHANICAL INSTALLATION BY VACUUM

In this case, a vacuum suction plate with lots of individual suction cups are used instead of a laying clamp. With such attachments, the pavers can be laid directly onto the laying course, and pushing-off devices are not necessary.
The disadvantage of the vacuum paver laying equipment is the fact that for each block configuration there is a need for a special suction plate. Therefore this procedure is limited to very large sites. Possible porosity of the pavers has to be taken into consideration, since it reduces the suction force.

3. PROPER TOOLS FOR MECHANICAL INSTALLATION

3.1 DIRECTLY RELATED TOOLS

The following tools are recommended to assure benefits with mechanical installation. These tools are not essentially related to mechanical installation. They also can be very useful with manual installation.

3.1.1 PAVER EXTRACTOR

Used to pull out individual blocks after installation, in case they are damaged or to correct mistakes when irregular laying patterns are used. During hand laying these blocks can be sorted out before laying (Figure 6).

3.1.2 ALIGNMENT BAR

Used to do final adjustments of the lines before compaction without damaging the blocks (Figure 7).

3.1.3 RUBBER HAMMER

Used to do slight adjustments before compaction, if necessary (Figure 8).

3.1.4 STRING LINE

Used to check for straight lines.

3.1.5 90 ° ANGLE

Preferably made of aluminum and foldable for easy storage, at least 2 m by 2 m long, used to check the 90 ° degree angle of lines towards edge restrain (Figure 9).

3.2 NOT DIRECTLY RELATED TOOLS

As a matter of fact by speeding up the installation by using mechanical installation equipment, also the screeding speed should be accelerated. Therefore a proper screeding system should be employed.

1. **For small and medium sized jobs:** Screeding systems, preferably made of aluminum profiles, being able to work on different widths up to approximately 5 m, pulled by hand or by machines (Figure 10).
2. **For large sized jobs:** Screeding system, preferably made of aluminum profiles to screed widths up to, at least, 8 m widths (Figure 11).
3. **For the largest sites:** Often a modified asphalt paver with laser or supersonic control system

can be used to lay the bedding sand.

4. READY TO INSTALL UNITS

A basis for the use of mechanical installation is, with only very few exceptions, that the paving blocks are delivered onto the site already in the formation in which they have to be installed afterwards.

In general all pavers, which are installed mechanically should have spacer bars. Even when clamped together by a mechanical installation clamp the space bars ensure that there is always a certain gap between the blocks, which can be filled with sand to give the pavement the necessary stability.

There are five different ready-to-install units that can be generally distinguished.

4.1 RUNNING BOND, E.G. HOLLAND STONES RUNNING BOND, UNI-STONES RUNNING BOND

Hereby it has to be noted, that on this kind of formation always a few blocks have to be placed by hand to interlock the units completely to each other. This work has to be carried out by hand and eases the laying production (Figure 12). Caused by the joint which is running across the gripping direction through the installation unit, there is a lower gripping security compared with laying units with a joint not running across the unit. "Gripping security" measures the chance, that the pavers do not fall out of the clamp, even on bad conditions.

4.2 HERRING-BONE PATTERN, E.G. HOLLAND STONE HERRING BONE PATTERN, UNISTONES HERRING BONE PATTERN

Using this type of pattern single blocks have to be placed by hand to get a proper full interlocking too (Figure 13). Further on the unit has to be placed on a step-faced front, which is especially lessening effectiveness with small surfaces. With some of the mechanical installation devices it is necessary to have half blocks on the short side of the unit to pick up the complete layer. These half blocks have to be taken up after the installation by hand and have to be replaced by full blocks.

Proper laying clamps can be equipped with an adapter to allow the installation without half blocks. Logistical problems in getting rid of the half blocks and getting full blocks instead can be a result of this fact.

The gripping security on the herring-bone pattern is bigger, because there are not single joints running completely through the unit across the gripping direction.

4.3 CROSS JOINT BOND, E.G. UNI-DECOR, ESKOO-SIX

These installation units are outstanding through the fact that no blocks have to be laid afterwards by hand, which means an increase in effectiveness (Figure 14).

However, it has to be mentioned, that this bond does not provide two-dimensional full interlocking from one layer to the other.

4.4 SPECIAL DESIGNED MECHANICAL INSTALLATION BLOCKS, E.G. UNI-COLOC, MATORO

These block shapes and installation units have been specially designed for being used for mechanical installation (Figure 15). They have the advantage that no block has to be laid by hand to interlock the units, and provide a high gripping security, because there are no joints running completely across the gripping direction.

Further on some units allow installation without any interlocking problems longitudinally or transversally. Therefore the necessary hand installation is once more reduced.

These advantages cause a remarkable increase in effectiveness and minimize the need of physical power. Thus **it could be more economic to lay an expensive block quicker than to lay a cheaper block slower**.

4.5 SPECIALLY DESIGNED MECHANICAL INSTALLATION BLOCKS WITH TWO-DIMENSIONAL INTERLOCKING, E.G. MATORO, XENEX, PROVIDING NO CLUSTER EFFECT

These block shapes and installation units have been specially designed for the use of mechanical installation, providing a full two-dimensional interlocking. That means, the clusters can not move apart from one another, not even under very heavy load conditions, because the clusters are interlocked to one another completely. The result is a homogeneous pavement with no cluster effect (Figure 16).

But it has to be mentioned that this kind of pavers require very high production quality and very tight tolerances; otherwise they will not fit into one another. The mechanical installation is a little bit slower because the pavers have to be interlocked to the already laid ones. However, experience on different sites have showed that most of this additional time is compensated by the fact that this kind of pavers are more or less self aligning.

5. LAYER SIZE, PAVER THICKNESS, PAVER QUALITY

Especially when using a squeezing clamp system for mechanical installation there is a tight correlation between the gripping security at the one side, and the layer size, the paver thickness and the paver quality on the other side. You will find a highest gripping security the smaller the layer size is, the thicker the paver is and the better quality it has.

5.1 OPTIMAL LAYER SIZE

The gripping security asks for a small layer size. The economy asks for a high production, which means big layer size. In practice it has been found out that a layer size of approximately 0,85 m (0,9 m) x 1,2 m, which is approximately 1 m^2 is the right size to work with.

5.2 OPTIMAL PAVER THICKNESS

The optimal paver thickness is 80 mm or 100 mm, depending on design criteria. 60 mm pavers should not be used for mechanical installation.

5.3 OPTIMAL PAVER QUALITY

In general it has to be mentioned that the mechanical installation requests higher paver quality than manual installation.

5.3.1 IMPORTANT FACTS

1. Some poor quality blocks which can be installed manually without major problems cannot be picked up with a squeezing clamp at all.
2. Square, even and sharp-edged blocks provide high gripping security (Figure 17).
3. Bellied pavers (mostly caused by wet mix) sometimes cannot be picked up at all because they sink through in the middle of the unit when the clamp is lifted up (Figure 18).
4. Paving blocks with "legs" (lips) sometimes caused by worn out molds also tend to sink down in the middle of the formation when being lifted (Figure 19).
5. The sand which is used in multi-layer production to prevent the blocks from sticking to one another, falls through to the bottom layer during the production process (Figure 20). If the sand stays in the bottom layer until the installation and is not removed by a proper packing action it will build a "bridge" between the single pavers and the unit also tends to sink down in the middle when being picked up (Figure 21).

5.3.2 VERIFICATION METHOD

A reliable and simple method to check the paver quality is the "piling up" method. Paving blocks are piled up one on top of the other 90 ° degrees turned from the position in the layer (Figure 22).

1. If the number of pavers which is laying in the gripping direction, piled-up vertically, is building a quite stable pile, there is quite a high gripping security.
2. If the pile is unstable, the gripping security is not very high.

3. If the pile falls over before the number of pavers, which is normally situated in gripping direction, is reached, this is an evident indication that the paver quality is too low to be installed mechanically.

5.4 OTHER CONCEPTS ABOUT PAVING BLOCK QUALITY

The following things have to deal with the expression block quality in a slightly widened meaning:

5.4.1 FULL SPACERS OR BLIND SPACERS

5.4.1.1 Spacers

Full spacers have to be preferred from the gripping point of view, because they provide a higher gripping security (Figure 23).

Blind spacers which are only reaching 10 mm to 20 mm below the surface of the blocks will make the thickness of the block in the gripping point of view smaller, which will make the gripping security lower. Further on there is a danger, out of the production point of view, that the channels for the spacers in the molds will build up with concrete and will make up the height of the spacer on the paving block even lower (Figure 24).

5.4.1.2 Pallets

Pallets or stacks which are unloaded on uneven ground on the site, will also have a smaller gripping security.

5.4.1.3 Color

When using colored paving blocks, the producer has to ensure that the color is the same throughout the whole production, otherwise there will be the chessboard effect after the installation. Pavers with two or more colors blended to make a mottled effect are not recommended for mechanical installation, unless highest production quality can be achieved. The distribution of coloring among the layers in the cube can create an uneven, checkered appearance of colors when the layers are placed.

5.4.1.4 Multi-layer production

Pavers manufactured on a "multi layer" machine require sand between the layers when stacked in a cube. If there is not the right amount or the right quality of sand between the layers, the pavers tend to stick together. If pavers stick to a layer when grabbed from the cube by the clamp, they must be detached before placing the layer. This operation wastes time. Pavers manufactured on a "single layer" machine require no sand between the layers when stacked in a cube.

6. PREPARATION ON SITE

The high grade of mechanizing of the mechanical installation can only be economically used, when the frame conditions are also optimized. Because the installation of paving blocks is consisting to a big part of transportation and a relatively small part of actual installation it is obvious that the transportation on site has to be optimized in the following way:

1. If possible, place stacks exactly where they are needed, in order to save additional site trans-

portation.
2. The distance between stacks has to be at least big enough to place the gripping element on top of the pallet.
3. Especially in small laying stripes, e.g. streets, driveways and so on, the distance of the stacks has to be calculated by the installation area in relation to square meters per stack.
4. Stacks have to be placed on even ground.
5. The facing of the stacks has to be according to the driving-on direction of the laying machine.
6. Some installation units are not symmetrical and it has to be ensured that always the same side of the stack is facing the laying machine.
7. Some installation units, e.g. herringbone, have to be placed in a special step-like pattern to ensure a proper interlocking. Make sure to get the right installation advising sheet from the supplier before starting the actual installation work.
8. Make sure to stay always on a right angle basis and to have straight lines, because corrections are sometimes impossible later on, or they are at least time consuming when operating with mechanical installation.
9. When there is a need to adjust mechanical installation to an already existing hand installed part it is better to start completely new, because the tightness of hand installation and mechanical installation may be different.
10. Minimize cutting or hand laying of pavers along the edges to save costs. This is accomplished by setting the width of the paved area to be a multiple of the width of the layer.

7. PRODUCTIVITY

Mechanical installation does not automatically mean higher productivity!. The installation result is always a product of the following variables:

1. Size, quality, layout and kind of installation unit.
2. Size, condition and organization of construction site.
3. Operating personnel and technical standard of the installation machine and installation clamp.

Referring to these parameters the productivity is between 300 m^2 and 600 m^2 per 8 hours a day, in a long-termed average.

8. COST ANALYSIS

This is a cost analysis for comparing mechanical installation of pavers with a machine to hand installation. Only the costs for installation has been taken into consideration, because all other costs, such as screeding, cutting, vibrating and so on are the same with mechanical installation as with manual installation. The following assumptions have been made:

8.1 MANUAL INSTALLATION

One installer installs about 50 m^2 in an 8 hour day, including transportation from the pallet to the installation point.

The labor costs are calculated with US$ 24,00/h.

8.2 MECHANICAL INSTALLATION

The purchase price for a basic version of the machine (see Numeral 10) is taken as US$ 30 000.

The depreciation time would be 5 years, whereby the sales price after these 5 years, that could be approximately US$ 8 600, is not taken into consideration.

Spare parts, wear parts and repairs are estimated at a lumb sum amount of US$ 800/year.

Further on costs for diesel is calculated for being 15 l/d at a cost of US$ 9,00.

To finance the machine an interest rate of 7,5 % for the depreciation time of 5 years has been taken into the calculation.

The labor for mechanical installation is due to the driver of the machine and another worker to assist during the laying process.

The figures in Tables 1 to 5 clearly show very that if the annual amount of installed pavers increases, the cost per square meter goes from US$ 1,78 to US$ 0,72, depending on the daily output.

The supposed output, when using the proposed machine, has been checked with the users over a longer period of time for being between 400 and 600 m^2 in the average. This average only can be reached when the organization of the site, availability of pavers, prepared screed and other precautions are taken, so there is no stand-still time for the laying machine. Depending on the site conditions, mentioned above and also depending on the size of the site outputs of less than 400 m^2 or more than 600 m^2 can be achieved.

Those contractors who have not any experience with the mechanical installation are often asking about the laying costs/m^2, if by any reason no high annual output is possible. Therefore the calculation has been made supposing a minimum daily output of 400 m^2 at an annual output of only 5 000 m^2. Even on this low annual output the cost/m^2 is only US$ 2,39 as shown in the Table 5.

Regarding the cost for hand laying most contractors have their own method of calculation and therefore only rough calculations were made. It was found that the cost is between US$ 3,20/m^2 and US$ 4,80/m^2.

To conclude one can say that even on a low annual output of 5 000 m^2 the cost for mechanical installation is much lower than manual installation.

8.3 PRICE RANGE FOR PAVER INSTALLATION IN GERMANY

As mentioned before, the laying productivity is depending on a lot of different variables. Therefore also the range of prices which are charged by the contractors for paver installation is very wide. In this

chapter some ideas area given about the range of costs charged in the German market.

There are principally three different ways of how installation of pavers is charged by the contractor:

8.3.1 FIRST

The subcontractor provides the paver installation machine including the operator. The contractor supplies the worker to guide the clamp. Under this circumstance the range of price is between US$ 1,15/m^2 and US$ 2,80/m^2.

8.3.2 SECOND

The subcontractor supplies the paver installation machine including the operator and the worker to guide the clamp. Therefore he is charging between US$ 2,00/m^2 and US$ 3,75/m^2 to the contractor.

Sometimes one worker to guide the clamp is not enough, for example when installing herring bone bond when half-blocks have been taken out of the cluster and replaced by full blocks. Then 1,5 to 2 helpers are necessary, which will increase the cost by another approximate US$ 0,87/m^2 to US$ 1,15/m^2.

8.3.3 THIRD

When also the sand screeding is sub-contracted, the contractor is asked for another US$ 1,40/m^2 to US$ 2,8/m^2 for the screeding.

All these prices are of course excluding the material. The price range for an 80 mm paver, standard gray color, for mechanical installation in reasonable large quantity, ranges between US$ 6,93/m^2 and US$ 8,60/m^2, delivered and unloaded on site.

9. CONCLUSION

The main concern for a producer of equipment for laying paving blocks is to make all parties involved in this business which are **the architect, the paver producer, the contractor and also the paver laying machine supplier** to understand that all of them are pulling from the same chain. If only one of them fails, the whole system will fail and everybody will loose money, market shares, credibility and more.

Therefore all parties have to understand that mechanical installation has its own rules and has nothing to do with the Romans paving their roads centuries ago. Since the production process is more sophisticated each time, the mechanical installation has to follow the same path and also all people involved in the whole process, giving each one the best as follows:

1. **The architect** has to make sure the design fits the requirements for mechanical installation.
2. **The producer** has to guarantee to deliver just the best quality of pavers for mechanical installation and to provide all necessary information to the installer.
3. **The contractor** has to make sure to carry out the laying professionally, paying a lot of attention to the fact that only when the joints are 100 % filled and the whole area is properly compacted, the site can be handed over.
4. **The laying machine supplier** has to make sure to design his equipment to the highest quality level as possible, to constantly improve on its design to achieve the best laying quality achievable and to give his best advise available, if he is asked for.

The author hopes to have been able to meet this requirements as paver machine producer and to have transmitted some facts he has learned along 20 years of dealing with the production of equipment and the contact with architects, producers, contractors and final users of this type or pavement. If he has done so, it will also contribute for you to reach your own goals.

10. BASES FOR THE COST ANALYSIS

The cost analysis made in Table 1 to Table 5 is based on the costs of a Probst Laying Machine VM 203, and all the information was provided by Probst Handling and Laying Systems GmbH, Germany.

ITEM *ITEM*	UNIT *UNIDAD*	COST *COSTO*	ITEM *ITEM*		UNIT *UNIDAD*	COST *COSTO*
Buying price ***Precio de compra***	US$	30 000	**Time to finance** ***Período de financiación***		years *años*	5
Basis value for depreciation / *Base para la depreciación*	US$	30 000	**Bank interest on capital in the average** ***Promedio del interés bancario sobre el capital***		%/year *US$/año*	7,50
Effective life ***Vida efectiva***	years *años*	5	**Direct labor costs per worker / *Costos directos de mano de obra por hombre***		$/h	10
Annual depreciation ***Depreciación anual***	US$/year *US$/año*	6 000	**Ancillary labor costs / *Costos adicionales de mano de obra***	**80 %**	$/h	8
Costs for repair, wear parts / *Reparación y repuestos*	US$/year *US$/año*	800	**Added ancillary costs** ***Costos adicionales***	**60 %**	$/h	6
Fuel costs ***Combustibles***	US$/d	9	**Total labor costs per worker** ***Costos totales por hombre***		$/h	**24**
Financing costs for the buying price / *Costos financieros del precio de compra*	US$/year *US$/año*	**1 125**	**Daily working time** ***Jornada de trabajo***		h/d	8
			Number of workers ***Número de hombres***		Men *Hombres*	2
Variable fields ***Campos variables***	On the marked variable fields you can make your changes to do the calculation with your data / *En los campos marcado como variables, usted puede colocar sus propios valores*					

Table 1. Cost assumptions for mechanical installation of concrete pavers.
Tabla 1. *Suposiciones de costos para instalación mecánica de adoquines de concreto.*

USE / *USO* (d/y)	DEPRECIATION *DEPRECIACIÓN* (US$/d)	MAINTENANCE *MANTENIMIENTO* (US$/d)	FUEL *COMBUSTIBLE* (US$/d)	INTEREST *INTERÉS* (US$/d)	TOTAL LABOR *MANO DE OBRA TOTAL* (US$/d)	TOTAL *TOTALES* (US$/d)
25	240,00	32,00	9,00	45,00	384,00	710,00
50	120,00	16,00	9,00	22,50	384,00	551,50
75	80,00	10,67	9,00	15,00	384,00	498,67
100	60,00	8,00	9,00	11,25	384,00	472,25
125	48,00	6,40	9,00	9,00	384,00	456,40
150	40,00	5,33	9,00	7,50	384,00	445,83
175	34,29	4,57	9,00	6,43	384,00	438,29
200	30,00	4,00	9,00	5,63	384,00	432,63
200	30,00	4,00	9,00	5,63	384,00	432,63
Variable fields ***Campos variables***	On the marked variable fields you can make your changes to do the calculation with your data / *En los campos marcado como variables, usted puede colocar sus propios valores*					

Table 2. Total cost (machine and labor) depending on the amount of days in use.
Tabla 2. *Costo total (equipo y mano de obra) dependiendo del número de días que esté en uso la máquina.*

USE (d/y) *USO (d/a)*	TOTAL COSTS *COSTOS TOTALES* (US$/d)	COSTS FOR 400 m²/d *COSTOS PARA 400 m²/d* (US$/m²)	COSTS FOR 500 m²/d *COSTOS PARA 500 m²/d* (US$/m²)	COSTS FOR 600 m²/d *COSTOS PARA 600 m²/d* (US$/m²)
25	710,00	1,78	1,42	1,18
50	551,50	1,38	1,10	0,92
75	498,67	1,25	1,00	0,83
100	472,25	1,18	0,94	0,79
125	456,40	1,14	0,91	0,76
150	445,83	1,11	0,89	0,74
175	438,29	1,10	0,88	0,73
200	432,63	1,08	0,87	0,72
200	432,63	1,08	0,87	0,72
Variable fields ***Campos variables***	On the marked variable fields you can make your changes to do the calculation with your data / *En los campos marcado como variables, usted puede colocar sus propios valores*			

Table 3. Total costs per day and m^2, depending on the number of days in use and the daily output.
Tabla 3. *Costos totales por día y m^2, en función del número de días en uso y el rendimiento diario.*

WORKING TIME *TIEMPO DE TRABAJO* (h/d)	LABOR *MANO DE OBRA* (US$/h)	LABOR *MANO DE OBRA* (US$/d)	OUTPUT-3 PEOPLE *REND. - 3 HOMBRES* (m^2/d)	TOTAL COST COSTO TOTAL (US$/$m^2$)
8	24,00	192,00	120	4,80
8	24,00	192,00	150	3,84
8	24,00	192,00	180	3,20
Variable fields ***Campos variables***	On the marked variable fields you can make your changes to do the calculation with your data / *En los campos marcado como variables, usted puede colocar sus propios valores*			

Table 4. Cost for installation by hand.
Tabla 4. *Costos para instalación a mano.*

OUTPUT (m^2/y) *PRODUCCIÓN* (m^2/a)	OUTPUT *PRODUCCIÓN* (m^2/d)	USE (d/y) *USO (d/a)*	TOTAL COST FOR MACHINE *COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA* (US$)	TOTAL COST FOR LABOR *COSTO TOAL DE LA MANO DE OBRA* (US$)	COST *COSTO* (US$/$m^2$)
5 000	400	12,50	7 125,00	4 800,00	2,39
5 000	400	12,50	7 125,00	4 800,00	2,39
Variable fields ***Campos variables***	On the marked variable fields you can make your changes to do the calculation with your data / *En los campos marcado como variables, usted puede colocar sus propios valores*				

Table 5. Total costs / m^2 at an annual output of 5 000 m^2 and a daily output of 400 m^2.
Tabla 5. *Costos totales / m^2 con un rendimiento anual de 5 000 m^2 y un rendimiento diario de 400 m^2.*

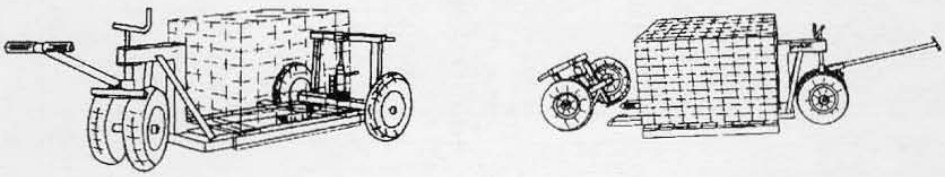

Figure 1. Pallet carts (PW).
Figura 1. *Carros para estibas (PW).*

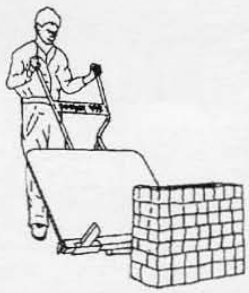

Figure 2. Paver carts (VTK).
Figura 2. *Carretillas para adoquines (VTK).*

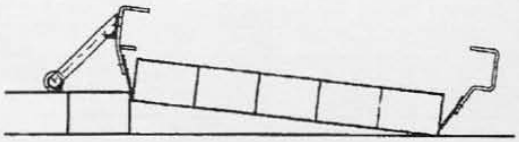

Figure 3. Mechanical installation with laying clamps.
Figura 3. *Instalación mecánica con prensas colocadoras.*

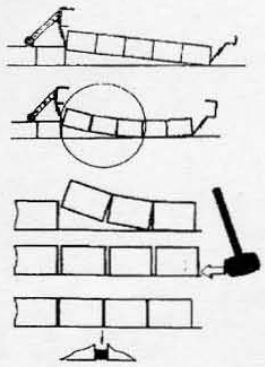

Figure 4. Installation sequence with laying clamps.
Figura 4. *Secuencia de colocación con prensas mecánicas.*

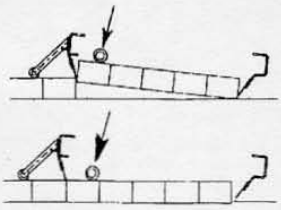

Figure 5. Improvements for paver laying clamps (ADV).
Figura 5. *Mejoras para las prensas mecánicas colocadores (ADV).*

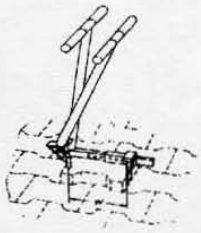

Figure 6. Paver extractor (SZ).
Figura 6. *Extractor de adoquines (SZ).*

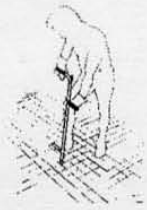

Figure 7. Alignment bar (RE).
Figura 7. *Barra alineadora (RE).*

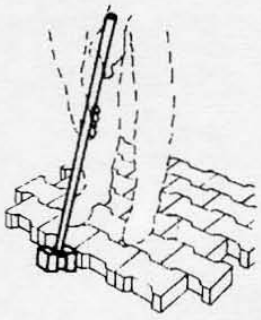

Figure 8. Rubber hammer (GH).
Figura 8. *Mazo de caucho (GH).*

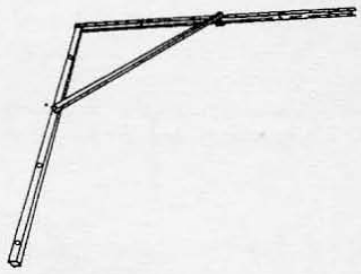

Figure 9. 90 ° metallic, foldable angle.
Figura 9. *Escuadra metálica, pllegable.*

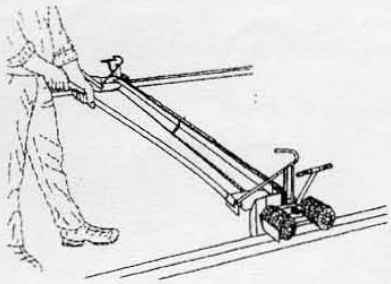

Figure 10 Screeding system, small & medium size job (TAS).
Figura 10. *Enrasadora de arena para obras pequeñas y medianas (TAS).*

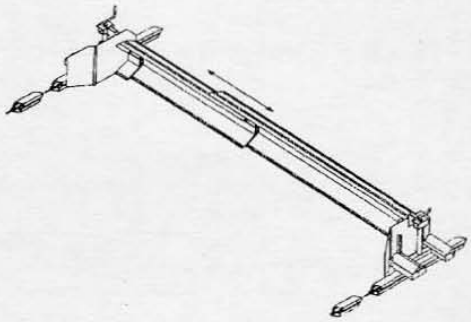

Figure 11. Screeding system, large size jobs (TAK).
Figura 11. *Enrasadora de arena para obras grandes (TAK).*

Figure 12. Running pattern / Holland and Uni stones.
Figura 12. *Patrón de colocación en hileras / Adoquines rectangulares (holandeces) y Uni.*

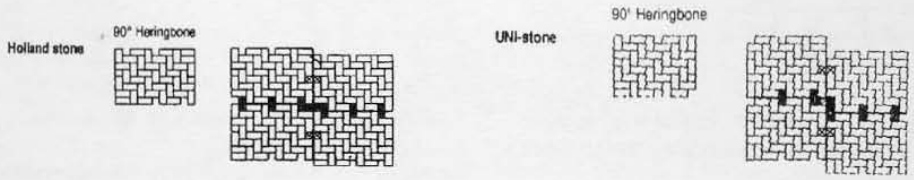

Figure 13. Herring-bone pattern / Holland and Uni stones.
Figura 13. *Patrón de colocación en espina de pescado / Adoquines rectangulares (holandeces) y Uni.*

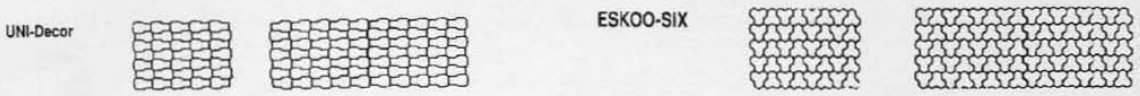

Figure 14. Cross joint pattern / Uni-decor and Eskoo-Six stones.
Figura 14. *Patrón de colocación en cuadrícula / Adoquines Uni-decor y Eskoo-Six.*

Figure 15. Specially designed blocks for mechanical installation / Uni-coloc and Matoro.
Figura 15. *Adoquines diseñados para colocación mecanizada / Uni-coloc y Matoro.*

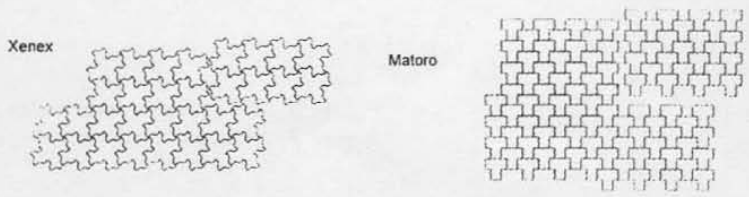

Figure 16. Specially designed blocks for mechanical installation with two-dimensional interlock, no cluster effect / Matoro, Xenex.
Figura 16. *Adoquines diseñados para colocación mecanizada sin formación de tandas / Matoro y Xenex.*

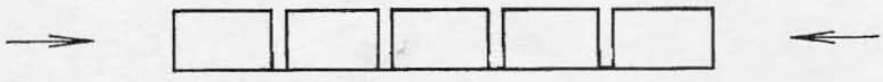

Figure 17. Geometrically right pavers (right prisms).
Figura 17. *Adoquines de geometría perfecta (prismáticos rectos).*

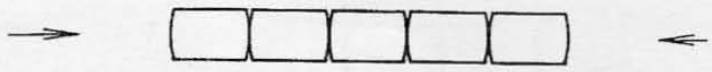

Figure 18. Bellied pavers.
Figura 18. *Adoquines asentados.*

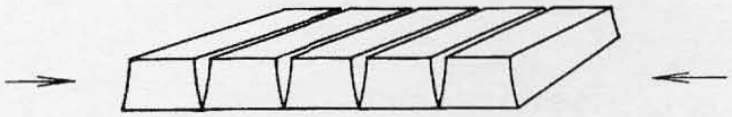

Figure 19. Pavers with legs (lips).
Figura 19. *Adoquines con rebabas.*

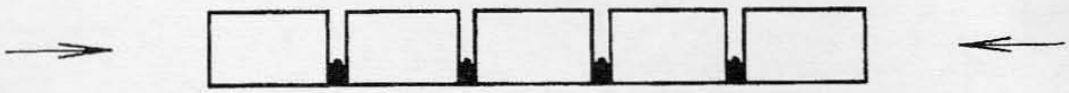

Figure 20. Sand accumulation.
Figura 20. *Acumulación de arena.*

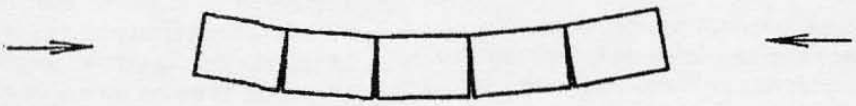

Figure 21. The result due to sand accumulation.
Figura 21. *Resultado debido a la acumulación de arena.*

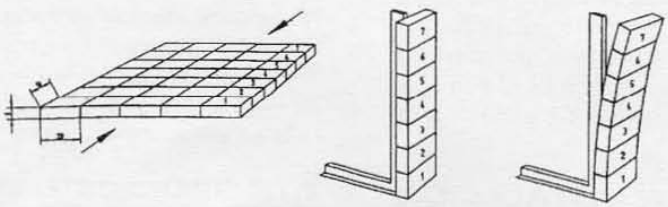

Figure 22. Pilling up method to evaluate geometrical quality of pavers.
Figura 22. *Ensayo de apilamiento para evaluar la calidad geométrica de los adoquines.*

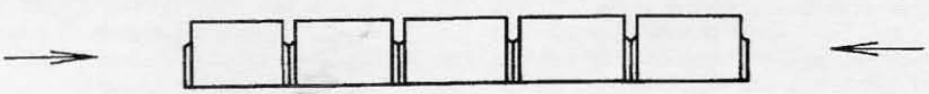

Figure 23. Blind spacers.
Figura 23. *Separadores de altura parcial.*

Figure 24. The result due to blind spacers.
Figura 24. *Resultado del uso de separadores de altura parcial.*

INSTALACIÓN MECÁNICA DE ADOQUINES DE CONCRETO [3] [4]

Martin PROBST
Gerente
PROBST HANDLING AND LAYING SYSTEMS GMBH
Erdmannhausen, Alemania

1. INTRODUCCIÓN

En el curso de la racionalización y del hacer la instalación de adoquines de concreto más humana, el uso de máquinas colocadoras se está haciendo más y más importante. En el mercado creciente de los adoquines de concreto, es importante aventajar a los otros métodos de pavimentación que tiene sistemas económicamente eficientes de colocación como los de concreto rigido y los concreto asfáltico; de tal manera que la colocación mecanizada puede tener una función de aceleración de la velocidad y un retorno económico.

Al lado del aspecto económico se encuentra el humano que se debe tener en cuenta de todas maneras en el momento de tomar decisiones, bien sea colocar adoquines a mano o colocarlos con máquina. El hecho de un colocador de adoquines tiene que cargar entre 7 t y 10 t de material al día, debería hacer que la instalación mecánica fuera absolutamente necesaria en un proyecto de gran tamaño. Si bien la colocación mecánica reemplaza el esfuerzo físico, requiere de mayores esfuerzos relativos a la organización de la obra, la calidad del producto y algunas otras. El propósito de esta ponencia es brindar algunos lineamientos acerca de el uso económico de la colocación mecánica de adoquines de concreto.

2. MÉTODO DE LA INSTALACIÓN MECÁNICA

Existen diferentes escalas de mecanización en la instalación de adoquines de concreto, dependiendo de diversos factores como:

1. Tamaño de la obra.
2. Disponibilidad de adoquines arrumados en forma de cubos.
3. Costos de la mano de obra local.

Con esto en mente, se puede elegir uno de los siguientes métodos de mecanización:

2.1 MECANIZACIÓN DEL TRANSPORTE EN LA OBRA

Al definir la instalación de adoquines de concreto como el proceso de tomar los adoquines de los arrumes y llevarlos hasta su posición final sobre la capa de arena, algunas investigaciones han demostrado que el transporte de los adoquines hasta el frente de avance de la obra es una parte importante de todo el proceso. Subsecuentemente, esta es la primera tarea que se debe enfrentar.

2.1.1 TRANSPORTE EN CARGADORES DE TENEDOR

No se debe efectuar el transporte de cubos de adoquines por medio de un cargador de tenedor o equipo similar, directamente hasta el frente de avance de la obra, debido a que dicho equipo pesado dañará la superficie de adoquines no compactados.

2.1.2 TRANSPORTE EN CARROS PARA ESTIBAS

Los carros para transporte de estibas son el primer paso de la mecanización cuando los adoquines vienen empacados sobre estibas (Figura 1). Es necesario que esos carros para estibas tengan llantas grandes con el fin de:

1. Lograr una mejor distribución de las cargas.
2. Tener mejor maniobrabilidad sobre la superficie irregular.

Siempre se pueden halar a mano a lo largo del frente de colocación y los adoquines se pueden tomar del carro para estibas y colocarlos directamente sin

3 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.

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

necesidad de transportarlos una gran distancia.

2.1.3 TRANSPORTE EN CARROS PARA ADOQUINES

Los carros para adoquines pueden tomar una fila vertical (arrume) de adoquines, directamente del piso o de la estiba, y transportarlos hasta el frente de avance de la colocación. Por esto, se pueden usar con cubos estibados o no estibados (Figura 2).

Los ensayos han demostrado que un operario con un carro para adoquines puede alimentar las necesidades de tres colocadores. En comparación, cuando se usa un coche con ruedas estándar, se necesitan dos cocheros para alimentar un colocador.

Los carros para adoquines bien diseñados no necesitan amarrar el arrume con zunchos. Son capaces de aprisionar la capa inferior de adoquines con suficiente fuerza para que sirvan de bandeja para los adoquines que van colocados sobre esta capa inferior.

2.1.4 CARROS MOTORIZADOS PARA ADOQUINES

Para grandes obras de colocación manual de adoquines o para sitios con grandes pendientes, se recomiendan los carros motorizados que llevan un dispositivo para asir una fila vertical (arrume) de adoquines. Los carros bien diseñados deben tener un eje de giro adecuado para evitar que se desplacen los adoquines durante los giros.

2.2 INSTALACIÓN MECÁNICA CON PRENSAS COLOCADORAS

En vez de colocar adoquín por adoquín en su posición final, la instalación mecánica utiliza una prensa consistente en un par de brazos que a modo de prensa o tenaza aprisiona una capa completa de adoquines tomada directamente del arrume y los instala en su posición final sobre la capa de arena. Esta colocodadora va montada sobre un vehículo transportador motorizado. Es importante que la capa de adoquines sea aprisionada desde los cuatro lados cuando se toma del arrume con el fin de evitar separaciones entre los adoquines (Figura 3).

Con el fin de permitir la instalación de los adoquines sin ningún tipo de discontinuidad con los adoquines instalados, la colocadora debe asir la capa de adoquines en el punto medio de su altura (espesor), cuando se utilizan prensas para la sujeción. Cuando se abre la prensa, los adoquines se deslizan hacia abajo, aproximadamente, 30 mm restantes hasta que se asientan sobre la capa de arena.

2.2.1 TÉCNICA DE INSTALACIÓN CORRIENTE

Cuando la prensa de instalación, de funcionamiento hidráulico, se abre para colocar los adoquines, el grupo de adoquines se asienta en la parte de adelante, con una separación vertical en la parte de atrás.

De hecho, los adoquines se atascan debido a la fricción con los adoquines previamente colocados. Todos los adoquines son empujados hacia adelante hacia la capa de arena libre. Los adoquines atascados tienen que ser empujados hacia abajo manualmente hasta llegar a la capa de arena (Figura 4).

Este hecho físico, fácilmente explicable, hace que sea necesario ajustar los adoquines para juntarlos, mediante la acción horizontal de un martillo.

Infortunadamente, al golpear los adoquines hacia los ya instalados, se acumula arena en las juntas y no es posible hace que la junta llegue a tener le espesor indicado.

El resultado final de esta técnica **corriente** de instalación es que:

1. No se obtienen líneas rectas.
2. Las juntas se cierran y se presenta desbordamiento posterior de los adoquines.
3. Anchos de junta disparejos.
4. Una gran cantidad de mano de obra requerida para enderezar el pavimento.

2.2.2 MEJORAS EN LAS PRENSAS COLOCADORAS – TECNOLOGÍA DEL EMPUJADO

Se ha desarrollado un aparato adicional a la prensa colocadora con el fin de evitar el rebote de los adoquines cuando se libera la presión de la prensa. Los adoquines son empujados hacia abajo mediante una barra accionada por un resorte, hasta que alcanzan la capa de arena (Figura 5).

Los resultados de esta **nueva** técnica de instalación son:

1. Adoquines instalados exactamente, sin necesidad de corrección posterior.
2. No se requiere de un martillado intenso después de la instalación.
3. Espaciamiento uniforme de las juntas.

2.3 INSTALACIÓN MECÁNICA MEDIANTE VACÍO

En este tipo de instalación se tiene un placa a la cual se han adosado una serie de ventosas individuales en vez de una prensa. Con este aditamento, los adoquines se pueden depositar directamente en la capa de arena y no se necesita de dispositivos de empuje.

La desventaja del equipo de colocación de adoquines por vacío radica en el hecho de que para cada configuración de adoquines se requiere de una placa diferente. Por lo tanto, este método está limitado a obras muy grandes. La posible porosidad de los adoquines se debe tener en cuenta puesto que reduce la fuerza de succión.

3. HERRAMIENTAS ADECUADAS PARA LA COLOCACION MECÁNICA

3.1 HERRAMIENTAS DIRECTAMENTE RELACIONADAS

Se recomiendan las siguientes herramientas con el fin de asegurar los beneficios de la instalación mecánica. Esas herramientas no están esencialmente relacionadas con la colocación mecánica, y pueden ser muy útiles en la colocación manual.

3.1.1 EXTRACTOR DE ADOQUINES

Utilizado para sacar adoquines individualmente después de haber sido instalados, cuando son dañados o con el fin de corregir errores cuando se usan patrones de colocación irregulares. Cuando se hace colocación manual, las unidades irregulares se pueden definir antes de colocarlas (Figura 6).

3.1.2 BARRA ALINEADORA

Usada para los ajustes finales de las juntas y el alineamiento antes de la compactación, sin dañar los adoquines (Figura 7).

3.1.3 MARTILLO DE CAUCHO

Útil para efectuar pequeños ajustes antes de la compactación, si fuera necesario (Figura 8).

3.1.4 CUERDAS

Necesarias para verificar que las líneas sean rectas.

3.1.5 ESCUADRA DE 90 °

Elaborada preferiblemente de aluminio y plegable para fácil almacenamiento y transporte, de, al menos, 2 m x 2 m, se usa para verificar que las líneas transversales estén a 90 °(Figura 9).

3.2 HERRAMIENTAS NO DIRECTAMENTE RELACIONADAS

Un hecho real es que al acelerar la colocación de los adoquines mediante su mecanización, se hace indispensable acelerar también la colocación de la capa de arena. Por esto se hace necesario usar el equipo adecuado:

1. **Para obras de tamaño pequeño y mediano:** Sistemas de riego de arena, preferiblemente elaborados con perfiles de aluminio, capaces de trabajar en distintos anchos hasta, aproximadamente, 5 m, halados por equipos o a mano (Figura 10).
2. **Para obras grandes:** Sistemas similares a los anteriores pero capaces de trabajar en anchos de, al menos, 8 m (Figura 11).
3. **Para la obras más grandes:** Con frecuencia se usa una colocadora de asfalto modificada, con un sistema de control por rayo láser o supersónico.

4. ADOQUINES LISTOS PARA LA INSTALACIÓN

Una premisa para el uso de colocación mecanizada de adoquines es, con muy pocas excepciones, que los adoquines lleguen al sito ordenados de la manera como van a ser colocados posteriormente.

En general todos los adoquines que se colocan mecánicamente, deben tener separadores. Aún cuando hayan sido aprisionados por la máquina colocadora, los separadores garantizan que siempre habrá una cierta separación entre los adoquines, la cual podrá ser llenada con arena para darle al pavimento la estabilidad necesaria.

Existen diferentes tipos de unidades listas para ser instaladas que se pueden distinguir fácilmente.

4.1 PATRÓN EN HILADAS, EJ. ADOQUINES HOLANDESES EN HILADAS, ADOQUINES UNI EN HILADAS

Es necesario anotar que en este tipo de patrón siempre será necesario colocar algunos adoquines a mano para poder trabar los grupos unos con otros (Figura 12). Debido a la junta que corre en la misma dirección de la de sujeción, a través del grupo, existe una menor seguridad de sujeción comparado con la de unidades que no tienen juntas que atraviesen el grupo. La "seguridad de sujeción" se define como la posibilidad de que los adoquines no se caigan de la prensa colocadora, aún en malas condiciones.

4.2 PATRON DE ESPINA DE PESCADO, EJ. ADOQUINES HOLANDESES EN PATRÓN DE ESPINA DE PESCADO, ADOQUINES UNI EN PATRÓN DE ESPINA DE PESCADO

Al utilizar este patrón de colocación hay que colocar a mano algunos adoquines para poder lograr la trabazón completa (Figura 13). Con algunas de las colocadoras es necesario tener adoquines medios en el lado corto del grupo con el fin de poderlo sujetar en su totalidad. Dichos adoquines se tienen que retirar a mano después de la colocación y reemplazar cada pareja de ello por adoquines enteros.

Algunas prensas colocadoras se pueden equipar con un adaptador para permitir la instalación sin los medios adoquines. Es necesario definir la logística para deshacerse de los medios adoquines que quedan sobrando.

La seguridad de sujeción del patrón de espina de pescado es mayor, porque no existen juntas continuas a través del grupo de adoquines en la dirección de sujeción.

4.3 PATRÓN EN HILERAS (JUNTA CRUZADA), EJ. ADOQUINES UNI-DECOR, ADOQUINES ESKOO-SIX

Estas formas de adoquines son sobresalientes en cuanto a que no hay colocar ningún adoquín a mano después de terminada la colocación, lo que implica que se incrementa la efectividad (Figura 14). Sin embargo, se debe mencionar que este patrón no proporciona la trabazón completa entre los grupos de adoquines.

4.4 ADOQUINES ESPECIALMENTE DISEÑADOS PARA INSTALACIÓN MECÁNICA, EJ. ADOQUINES UNI-COLOC, ADOQUINES MATORO

Estas formas de adoquines y de grupos de instalación han sido diseñadas especialmente para instalación mecánica (Figura 15). Tienen la ventaja de que no hay que colocar ningún adoquín a mano para trabar los grupos y proporcionan gran seguridad de sujeción, debido a que no hay juntas continuas en la dirección de sujeción.

Algunas de estas formas permiten la colocación sin ningún problema de trabazón longitudinal o transversal. Por lo anterior la necesidad de instalación manual es una vez más reducida.

Estas ventajas significan una ventajas destacable en la efectividad del trabajo y minimizas la necesidad de fuerza física. Por esto **podría ser más económico colocar un adoquín costoso más rápido que colocar un adoquín barato más lentamente.**

4.5 ADOQUINES ESPECIALMENTE DISEÑADOS PARA INSTALACIÓN MECÁNICA CON TRABAZÓN BIDIMENSIONAL, EJ. ADOQUINES MATORO, ADOQUINES XENEX, SIN EFECTO DE GRUPO

Esas formas y grupos de instalación han sido diseñadas especialmente para ser usadas con instalación mecánica, brindando una trabazón completa en las dos dimensiones del plano. Esto significa que los grupos no se pueden mover uno con respecto a los otros, ni aún bajo condiciones de grandes cargas, debido a que están trabados unos con otros completamente. El resultado es un pavimento homogéneo sin efecto de grupos (Figura 16).

Pero se debe mencionar que este tipo de adoquines requieren una calidad de producción muy alta y unas tolerancias muy precisas; de otra manera no encajarán unos con otros. Su instalación mecánica es un poco más lenta que para otras formas, ya que los adoquines tienen que trabar con otros ya colocados. Sin embargo, la experiencia adquirida en diferentes trabajos ha mostrado que la mayor parte de este tiempo adicional es compensado por el hecho de que este tipo de adoquín casi que se alinea por si mismo.

5. TAMAÑO DEL GRUPO, ESPESOR DE LOS ADOQUINES, CALIDAD DE LOS ADOQUINES

Existe una correlación precisa entre la seguridad de sujeción y el tamaño del grupo, el espesor de los adoquines y la calidad de los mismos, especialmente cuando se utilizan prensas colocadoras para la colocación mecánica de adoquines. La mayor seguridad de sujeción se tendrá con los grupos menores, los adoquines más gruesos y con los de mejor calidad.

5.1 TAMAÑO ÓPTIMO DEL GRUPO

La seguridad de sujeción indica que se deben tener grupos o capas pequeños. La economía, por el contrario, propugna por alta producción, lo que significa grupos más grandes. En la práctica se ha encontrado que el tamaño adecuado de grupo para trabajar es de 0,85 m (0,9 m) x 1,2 m, lo que equivale aproximadamente a 1 m^2.

5.2 ESPESOR ÓPTIMO DE LOS ADOQUINES

El espesor óptimo de los adoquines para colocación mecanizada es de 80 mm ó 100 mm, dependiendo del criterio de diseño. Los adoquines de 60 mm no se deben utilizar para colocación mecanizada.

5.3 CALIDAD ÓPTIMA DE LOS ADOQUINES

En general se debe mencionar que la colocación mecanizada requiere de mayor calidad en los adoquines que la colocación manual.

5.3.1 FACTORES IMPORTANTES

1. Algunos adoquines de poca calidad que se pueden colocar a mano sin mayores problemas no pueden ser aprisionados por las colocadoras.
2. Los adoquines prismáticos, parejos y de bordes vivos brindan una mayor seguridad de sujeción (Figura 17).
3. Adoquines asentados (con paredes verticales curvas similares a un barril) (debido a una mezcla muy húmeda) algunas veces no pueden ser sujetados de ninguna manera, porque las unidades en medio del grupo se caen cuando se levanta la prensa (Figura 18).
4. Los adoquines con rebabas inferiores, originadas algunas veces por desgaste de los moldes (NE: O por irregularidades de las bandejas), también tienden a caerse cuando se levanta la prensan (Figura 19).
5. La arena que se utiliza como separador en la producción en máquinas multicapa y que evita que los adoquines se peguen unos con otros, va cayendo hacia la parte de abajo de la capa de adoquines durante el proceso de producción (Figura 20). Si la arena se queda en esta posición hasta que se instalan los adoquines y no se remueve durante el empacado, generará un puente entre los adoquines y tenderán a caerse cuando se sujeten con la prensa (Figura 21).

5.3.2 MÉTODO DE VERIFICACIÓN

Un método confiable y sencillo de verificar la calidad geométrica de los adoquines para propósitos de colocación mecanizada es el de apilado. Se toma una hilera de adoquines en sentido de aplicación de la fuerza y se apila verticalmente, uno sobre otro, como si dicha hilera hubiera girado 90 ° sobre uno de sus extremos (Figura 22).

1. Si el arrume es estable, existe muy buena seguridad de sujeción.
2. Si el arrume es inestable, la seguridad de sujeción no es muy buena.
3. Si el arrume se cae antes de poder apilar el número de adoquines que existirían en la dirección de sujeción, es una indicación de que la calidad geométrica de los adoquines es demasiado baja para poder ser colocados mecánicamente.

5.4 OTROS CONCEPTOS ACERCA DE LA CALIDAD DE LOS ADOQUINES

Lo siguiente tiene que ver con la expresión "calidad de los adoquines" de una manera indirecta:

5.4.1 SEPARADORES COMPLETOS O INCOMPLETOS

Los separadores completos (es decir a lo largo de toda la altura (espesor) de los adoquines), se deben preferir desde el punto de vista de la sujeción, debido a que brindan mayor seguridad de sujeción (Figura 23).

Los separadores ciegos, que llegan hasta una distancia entre 10 mm y 20 mm del la superficie del adoquín, harán que la altura (espesor) de los adoquines, desde el punto de vista de la sujeción, sea menor, lo que reduce la seguridad de sujeción. Además existe el peligro, desde el punto de vista de la producción, de que los ahuellamientos elaborados en los moldes para conformar los separadores, se llenarán con concreto y hará que la altura del separador sea aún menor (Figura 24).

5.4.2 ESTIBAS

Las estibas o arrumes que se descargan sobre terrenos irregulares en la obra, poseen también una seguridad de sujeción menor.

5.4.3 COLOR

Cuando se usen adoquines coloreados, el productor debe asegurar que el color sea el mismo a través de toda la producción, de otra manera la superficie terminada lucirá como un tablero de ajedrez. Los adoquines que tienen dos o más colores mezclados para buscar el efecto de manchas, no se recomiendan para colocación mecanizada, a no ser que se tenga una alta calidad en la producción. La distribución de los pigmentos en las capas del arrume o cubo pueden crear una apariencia de irregularidad o de tablero de ajedrez cuando se coloca cada capa.

5.4.4 PRODUCCIÓN MULTICAPA

Los adoquines producidos en una máquina multicapa necesitan que se le esparza arenas entre las capas cuando se arruman en forma de cubo. Si no se coloca la cantidad correcta de arena o de la calidad adecuada, los adoquines tienden a pegarse. Si los adoquines se quedan pegados a la capa inferior al tomarlos del cubo con la prensa hay que separarlos antes de colocar la capa. Esta operación gasta tiempo innecesariamente. Los adoquines producidos en una máquina monocapa no requieren de arena entre las capas al arrumarlos como un cubo.

6. PREPARACIÓN DE LA OBRA

El alto grado de mecanización de la colocación mecanizada de adoquines sólo puede ser aprovechada económicamente cuando las condiciones circundantes se han optimizado. Debido a que la instalación de adoquines consiste, en buena parte, de actividades de transporte y una parte relativamente pequeña es la colocación en si, resulta obvio que el transporte dentro de la obra se tiene que optimizar de la siguiente manera:

1. Si es posible coloque arrumes o cubos exactamente donde se necesitan, con el fin de ahorrar el transporte adicional de los mismos.
2. La distancia entre los arrumes debe ser suficiente para poder hacer descender la prensa desde arriba del arrume.
3. De manera especial en franjas angostas donde se van a colocar adoquines, como en calles, accesos para vehículos, etc., las distancia de los arrumes debe ser calculada en función del área a colocar y de los m^2 de cada arrume o cubo.
4. Los arrumes o cubos se deben colocar sobre suelo firme y uniforme.
5. La posición de los cubos relativa a la vía debe ser tal que hacia ella quede la cara por la cual debe entrar la máquina colocadora.
6. Algunos adoquines no son simétricos, lo mismo que algunos grupos, por lo cual se debe asegurar que todos quedan con el mismo lado mirando hacia la vía desde donde van a ser tomados por la máquina colocadora.
7. Algunos patrones como el de espina de pescado, requieren que los grupos se coloquen en escalas para poder lograr la trabazón completa. Asegúrese de pedir y obtener instrucciones sobre la manera correcta de colocarlos, directamente del proveedor, antes de comenzar la colocación.
8. Asegúrese siempre de ir en línea recta y de conservar los ángulos rectos, puesto que de no ser así será imposible interconectar algunos grupos posteriormente o gastarán mucho tiempo si se está empleando colocación mecanizada.
9. Cuando es necesario empalmar una zona de colocación mecanizada con otra de colocación manual, es mejor comenzar de nuevo debido a que el ajuste de la colocación manual y el de la mecanizada pueden ser diferentes.
10. Reduzca a un mínimo el partido y la colocación manual de adoquines en los bordes del pavimento para ahorrar costos. Esto se logra ajustando el ancho del área de adoquines a un múltiplo del ancho del grupo.

7. PRODUCTIVIDAD

¡La instalación mecánica no significa automáticamente mayor productividad!. El resultado de la instalación es siempre un producto de las siguientes variables:

1. Tamaño, calidad, forma y tipo de los adoquines y del grupo.
2. Tamaño, condición y organización del sito de obra.
3. Personal operario y nivel técnico de la máquina colocadora y de la prensa colocadora.

Con relación a esos parámetros, la productividad puede estar entre 300 m^2 y 600 m^2 por día laboral de 8 h, como un promedio a lo largo de un tiempo prolongado.

8. ANÁLISIS DE COSTOS

Este es un análisis de costos para comparar la colocación mecanizada de adoquines con la colocación manual de los mismos. Sólo se han tenido en cuenta los costos de instalación, debido a que todos los otros costos, como la colocación de la capa de arena, el corte de adoquines, el vibrado, etc., son los mismos para colocación mecanizada o manual. Se han hecho las siguientes suposiciones:

8.1 COLOCACIÓN MANUAL

Un colocador coloca unos 50 m^2 por jornada diaria de 8 h, incluyendo el transporte del arrume o estiba al frente de colocación.

El costo de la mano de obra se ha calculado con un salario de US$ 24,00/h.

8.2 COLOCACIÓN MECÁNICA

El precio de compra de una versión básica de la máquina colocadora (ver numeral 10) es de US$ 30 000.

El período de depreciación sería de 5 años, después del cual el precio de venta de la máquina, que podría ser de unos US$ 8 600 no se toma en cuenta.

Los repuestos, piezas de desgaste y las reparaciones se calculan como una cantidad global de US$ 800 por año.

Los costos de combustible se calculan para 15 l/d a un costo de US$ 9,00.

Para financiar la compra de la máquina se paga un interés del 7,5 % para un período de depreciación de 5 años.

La mano de obra en la colocación mecanizada se genera en el conductor de la máquina y en otra persona que ayude en el momento de la colocación.

Las cifras en las Tablas 1 a 5 muestran claramente que si se incrementa la cantidad de adoquines instalados en el año, el costo unitario de la colocación desciende de US$ 1,78 a US$ 0,72, dependiendo del rendimiento diario.

El rendimiento diario para la máquina considerada (ver Numeral 10) ha sido verificado con los usuarios a través de un largo período de tiempo, y está entre 400 m^2 y 600 m^2 en promedio. Este promedio sólo se puede alcanzar cuando la organización de la obra, la disponibilidad de los adoquines, la preparación de la arena y otras precauciones han sido tomadas, de manera que la máquina colocadora no permanezca inutilizada. Dependiendo de las condiciones del lugar, mencionadas anteriormente y también dependientes del tamaño del lugar, se pueden tener rendimientos de menos de 400 m^2 o de más de 600 m^2.

Los contratistas que no han tenido ninguna experiencia con colocación mecanizada preguntan siempre por los costos de colocación/m^2, cuando, por alguna razón, no se alcanzan grandes volúmenes anuales. El cálculo se hizo suponiendo un rendimiento diario de 400 m^2 y de un rendimiento anual de 5 000 m^2. Aún con este rendimiento anual tan bajo, el costo/m^2 es de solo US$ 2,39 como se muestra en la Tabla 5.

Con respecto al costo de colocación manual, la mayoría de los contratistas tienen su propio método de calcularlo, por lo cual sólo se hicieron cálculos aproximados. Se encontró que este costo podría estar entre US$ 3,20/m^2 y US$ 4,80/m^2.

Para concluir, uno podría decir que aún con un rendimiento anual de 5 000 m^2, el costo para la colocación mecánica es mucho más bajo que para la manual.

8.3 RANGO DE PRECIOS PARA LA COLOCACIÓN DE ADOQUINES EN ALEMANIA

Como se mencionó antes, la productividad en la colocación mecánica de adoquines depende de una gran cantidad de variables. Por lo tanto el monto que cobran los contratistas por la colocación mecánica también varía dentro de un rango muy amplio. En este capítulo se dan algunas ideas del rango de precios que se cobra en el mercado Alemán.

Existen tres modos diferentes según los cuales el contratista cobra la colocación mecanizada de adoquines:

8.3.1 PRIMERO

El subcontratista suministra la máquina colocadora de adoquines, incluido el operador de la misma. El contratista suministra el trabajador para guiar la prensa colocadora. Bajo estas circunstancias el rango de precios está entre US$ 1,15/m^2 y US$ 2,80/m^2.

8.3.2 SEGUNDO

El subcontratista suministra la máquina colocadora, de adoquines, el operador de la misma y un trabajador para guiar la prensa colocadora. Por ésto le cobra al contratista entre US$ 2,00/m^2 y

US$ 3,75/m^2.

Algunas veces no es suficiente con un trabajador para guiar la prensa como, por ejemplo, cuando se colocan adoquines en patrón de espina de pescado y tiene que sacar medios adoquines de cada grupo colocado y reemplazarlos por adoquines enteros. Esto hace que se necesite entre 1,5 y 2 ayudantes, lo que incrementará el costo en, aproximadamente, US$ 0,87/m^2 y US$ 1,15/m^2.

8.3.3 TERCERO

Cuando también se subcontrata la colocación de la arena, se le cobra al contratista ente US$ 1,4/m^2 y US$ 2,8/m^2 por regarla.

Todos estos precios excluyen los materiales. El rango de precio para adoquines de 80 mm de altura (espesor), grises corrientes, para colocación mecánica, en cantidades razonablemente grandes, está entre US$ 6,93/m^2 y US$ 8,60/m^2, puesto y descargado en la obra.

9. CONCLUSIÓN

El mayor interés para un productor de equipo para colocar adoquines de concreto es lograr que todas las partes involucradas en el negocio, como son **el arquitecto, el productor de adoquines, el contratista y también el proveedor de la máquina colocadora**, entiendan que todos están halando de la misma cuerda. Si uno de ellos falla, todo el sistema lo hará y cada uno perderá dinero, participación del mercado, credibilidad y algo más.

Por lo tanto, todas las partes tienen que entender que la instalación mecánica tiene sus propias reglas, y que no tiene nada que ver con los Romanos pavimentando sus vías hace siglos. Dado que el proceso de producción es más sofisticado cada vez, la instalación mecánica ha seguido la misma senda, como también la gente involucrada en el proceso total, entregando cada uno lo mejor como sigue:

- **El arquitecto** tiene que estar seguro de que su diseño es adecuado para ser colocado mecánicamente.
- **El productor** tiene que garantizar la entrega de adoquines de, solamente, la mejor calidad para la colocación mecánica, y suministrarle la información necesaria al instalador.
- **El contratista** tiene que colocar lo adoquines de manera profesional, prestando mucha atención al hecho de que sólo cuando el 100 % de las juntas estén llenas y toda el área se haya compactado, se podrá entregar la obra.
- **El proveedor de la máquina colocadora** de adoquines tiene que diseñar su equipo al más alto nivel posible, mejorando constantemente su diseño con el fin de alcanzar la mejor calidad de colocación posible y brindar el mejor consejo que pueda, cuando se le pida.

El autor espera haber cumplido con este requisito como productor de máquinas colocadoras de adoquines y haber transmitido algunas cosas que ha aprendido a lo largo de 20 años de fabricar equipo y de tener contacto con arquitectos, productores, contratistas y usuarios finales de este tipo de pavimento. Si esto ha sido así, contribuirá a su vez a que el lector alcance sus propios objetivos.

10. BASES PARA EL ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos elaborado en las Tablas 1 a 5 está basado en los costos de una Máquina Colocadora Probst VM 203, y toda la información fue suministrada por la firma Sistemas de manejo y de Colocación Probst GmbH, de Alemania.