

Máster Oficial Interuniversitario



UNIVERSIDAD
DE
CORDOBA

Representación y Diseño
en Ingeniería y Arquitectura

Trabajo Fin de Máster

Diseño de layouts en industrias de elaboración de piedra natural para una alta eficiencia operativa

Alfonso
CORTÉS IZURDIAGA

Curso | 2012-2013
Convocatoria | Sept

Director/es:

José PÉREZ ALONSO

Resumen:

En este trabajo se realiza un estudio de los principales problemas actuales relacionados con el layout o distribución en planta que afectan a las industrias de elaboración de piedra natural ubicadas en la comarca de Macael (Almería). A partir de la detección de esos problemas, se define un diagrama de flujo de procesos óptimo para minimizar esos problemas. Una vez definida esta secuencia de procesos y dimensionada la fábrica modelo para una capacidad de producción media, se puede aplicar la metodología SLP (Systematic Layout Planning). La aplicación de la metodología dará lugar a una distribución en planta ideal para una factoría genérica de elaboración de piedra natural. Esta distribución general podrá utilizarse como modelo para el planteamiento de nuevas instalaciones industriales. Por último, se dan una serie de indicaciones o recomendaciones para mantener la eficiencia operativa en un proceso industrial de elaboración de piedra natural ya en marcha.



Índice del trabajo

1. Introducción.....	3
1.1. Introducción al proceso industrial de elaboración de piedra natural.....	4
2. Materiales y métodos.....	11
2.1. Eficiencia operativa: observación y cuestionarios basados en la metodología de las 5S.....	11
2.2. Metodología S.L.P. para el diseño de Layouts industriales.....	12
3. Resultados.....	12
3.1. Estudio de eficiencia operativa mediante metodología 5S.....	12
3.2. Estudio de layout según metodología S.L.P.	23
3.2.1. Identificación de departamentos y actividades.....	23
3.2.2. Tabla relacional de actividades.....	23
3.2.3. Diagrama relacional de actividades.....	26
3.2.4. Determinación de superficies.....	27
3.2.5. Diagrama relacional de superficies.....	28
3.2.6. Realización de bocetos y selección de la mejor distribución en planta.....	29
4. Discusión.....	31
5. Conclusiones.....	34
6. Agradecimientos.....	35
7. Referencias.....	35

Resumen. En este trabajo se realiza un estudio de los principales problemas actuales relacionados con el layout o distribución en planta que afectan a las industrias de elaboración de piedra natural ubicadas en la comarca de Macael (Almería). A partir de la detección de esos problemas, se define un diagrama de flujo de procesos óptimo para minimizarlos. Una vez definida esta secuencia de procesos y dimensionada la fábrica modelo para una capacidad de producción media, se puede aplicar la metodología SLP (Systematic Layout Planning). La aplicación de la metodología dará lugar a una distribución en planta ideal para una factoría genérica de elaboración de piedra natural. Esta distribución general podrá utilizarse como modelo para el planteamiento de nuevas instalaciones industriales. Por último, se dan una serie de indicaciones o recomendaciones para mantener la eficiencia operativa en un proceso industrial de elaboración de piedra natural ya en marcha.

Palabras clave. Diseño de layouts, metodología S.L.P., elaboración de piedra natural, eficiencia operativa.



Abstract. In this work a study of the main problems related to plant layout affecting natural stone industries located in the region of Macael (Almería) is presented. From the detection of these problems, we define an optimal flow diagram of processes to minimize them. Once this sequence of processes has been designed and the factory capacity has been dimensioned for an average production capacity, the S.L.P. (Systematic Layout Planning) methodology can be applied. The application of the methodology will result in an ideal plant layout for a generic factory for processing natural stone. This general distribution may be used as a model for the design of new industrial facilities. Finally, a number of indications or recommendations to maintain operational efficiency in an operating natural stone processing factory is proposed.

Key words. Layout design, S.L.P. methodology, natural stone elaboration, operating efficiency.



1. Introducción.

Desde la antigüedad, la piedra natural ha sido utilizada como material de construcción. Inicialmente, se empleaba como elemento estructural en construcciones con muy bajo grado de elaboración, prácticamente se podría decir que como bloques en bruto. Posteriormente, la tecnología de transformación y elaboración de la piedra evolucionó, de forma que dichos elementos estructurales ya pasaron a tener también un carácter ornamental en la forma de columnas, cornisas, etc. Además, se comenzó a emplear el material como aplacado, fundamentalmente para embellecer los suelos de las construcciones.

Tradicionalmente, no solo el mármol es apreciado por su gran belleza en la arquitectura, también en el campo de la escultura destacan obras de gran importancia. Estas obras no solo son un tesoro por su conjunto en sí, sino también por la obtención de dichos materiales y los procesos de fabricación de los mismos.

La principal característica de la industria de la piedra natural es que no se trata de un material que se crea expresamente para la construcción por acción del hombre, siguiendo una receta y unos parámetros de proceso. La piedra natural se extrae de la naturaleza como materia prima, en forma de bloques, y luego se transforma para hacerla apta para su uso final, a través de etapas basadas fundamentalmente en su mecanizado y corte. Este tipo de operaciones se basan, fundamentalmente, en la aplicación de herramientas de corte, mecanizado, desbaste y pulido compuestas por una fracción importante de diamante u otros materiales muy abrasivos. El agua es un elemento fundamental en estos procesos, puesto que actúa como medio refrigerante.

Aparecen en los últimos años las operaciones de resinado y protección química, que suponen la aplicación de productos químicos superficiales, generalmente de naturaleza polimérica, para mejorar las prestaciones técnicas del material sin alterar sus propiedades estéticas.

La elaboración de mármoles y granitos comprende la realización en los talleres de todas las operaciones necesarias para transformar los bloques de la cantera en planchas y piezas que tengan la forma, medida y acabado que se precisa para su puesta en obra (pavimentos, revestimientos, escaleras para edificaciones, etc...). El mármol y el granito entran en el taller como materia prima en forma de bloques, más o menos de forma de paralelepípedo, de 6 a 15 toneladas, con unas longitudes de 2.2 a 3 m, anchuras de 1.2 a 1.5m y alturas de 0.9 a 1.2m. La elaboración de los bloques se desarrolla en función de las características del material a tratar: tamaño del bloque, dureza, diaclasamiento, estratificación, abrasividad, fragilidad, etc..., y de las dimensiones finales que se quiera dar al producto tratado. Estas variables de entrada, derivadas fundamentalmente del material a elaborar en las instalaciones industriales, serán fundamentales a la hora de definir el diagrama de flujo de proceso y seleccionar y dimensionar los equipos de fábrica.

En la provincia de Almería existe una comarca muy especializada en la industria de la piedra, dada la riqueza en yacimientos geológicos de este recurso natural. Se trata de la Comarca del Alto Almanzora, destacando sobre todos los términos municipales el de Macael, por la cantidad de canteras y por disponer de un polígono industrial con un elevado número de empresas dedicadas a la elaboración de la piedra natural.



La particularidad del proceso de extracción y elaboración de la piedra natural hace que los costes de fabricación de los productos derivados sean relativamente altos en comparación con otros materiales, tales como el hormigón o la cerámica. Estos materiales, a pesar de que presentan características y valores completamente distintos a los de la piedra, se han convertido en competidores directos y le están restando gran parte de la cuota de mercado que la piedra tenía previamente. Por otro lado, países emergentes como China y Turquía suponen una competencia atroz para las empresas españolas ya que sus costes operativos son muy inferiores y esto se refleja también en unos bajos precios de venta.

Las estrategias de competitividad de las empresas españolas deben ir focalizadas, entre otros puntos, a la calidad del producto final y la eficiencia operativa. De esta forma, se estará en condiciones de ofrecer, por un lado, un producto de alto valor añadido que cumpla con creces las normativas de construcción existentes y, por otro lado, un producto competitivo económicamente, puesto que ha sido fabricado en un proceso altamente eficiente.

Una de las principales bases de la eficiencia operativa es el Layout en planta. Según un artículo publicado por Reza y Sule en 1.991, cuando el layout es eficiente, el coste de manipulación y transporte de material puede llegar a reducirse hasta en un 60% en un entorno de fabricación y, por tanto, cualquier eficiencia lograda del desarrollo de un buen layout contribuye directamente a la disminución del coste unitario de producto. Un buen layout también minimiza las necesidades posteriores de modificaciones en la distribución en planta.

Con este precepto en mente, el presente Trabajo Fin de Máster se estructura en dos partes principales:

- Estudio de una instalación industrial de elaboración de piedra natural, tomada como modelo, en términos de eficiencia operativa. En este caso se utiliza una auditoría basada en el método de las 5S. Extracción de conclusiones que permitan la definición de un flujo de operaciones y el dimensionamiento de una fábrica modelo de elaboración de piedra natural.
- Aplicación de la metodología S.L.P. (Systematic Layout Planning) sobre la instalación industrial definida en el punto anterior para la elaboración de un layout ideal para una fábrica modelo de elaboración de piedra natural.

1.1 Introducción al proceso industrial de elaboración de piedra natural

El proceso productivo seleccionado para el estudio de distribución en planta según la metodología SLP es un proceso de elaboración de mármoles y calizas de piedra natural. Éstas son unas familias de rocas ornamentales caracterizadas porque tienen un origen metamórfico, una estructura cristalina similar y una composición mayoritaria en carbonato cálcico. Es por este motivo que los procesos industriales vinculados a su elaboración son equivalentes.

El objetivo de la aplicación del proceso productivo será la obtención de los siguientes productos planos, que denominaremos a partir de ahora como aplacados de piedra natural:



- Tablas o planchas de piedra natural de grandes dimensiones sin elaborar.
- Tablas elaboradas, es decir, mecanizadas y listas para su puesta en obra. Fundamentalmente son encimeras de cocina y baño.
- Baldosas y plaquetas. Estas dos clases se diferencian fundamentalmente en el espesor del producto.
- Otros productos planos elaborados, tales como peldaños para escaleras o baldosas de dimensiones especiales.

El caso de la artesanía, o elaboración de volúmenes de piedra en forma de columnas, chimeneas, etc. no se considerará en el presente trabajo, puesto que los procesos productivos vinculados son distintos. En el siguiente diagrama de flujo se muestran las operaciones secuenciales de fabricación vinculadas al proceso de elaboración de los aplacados de piedra natural:



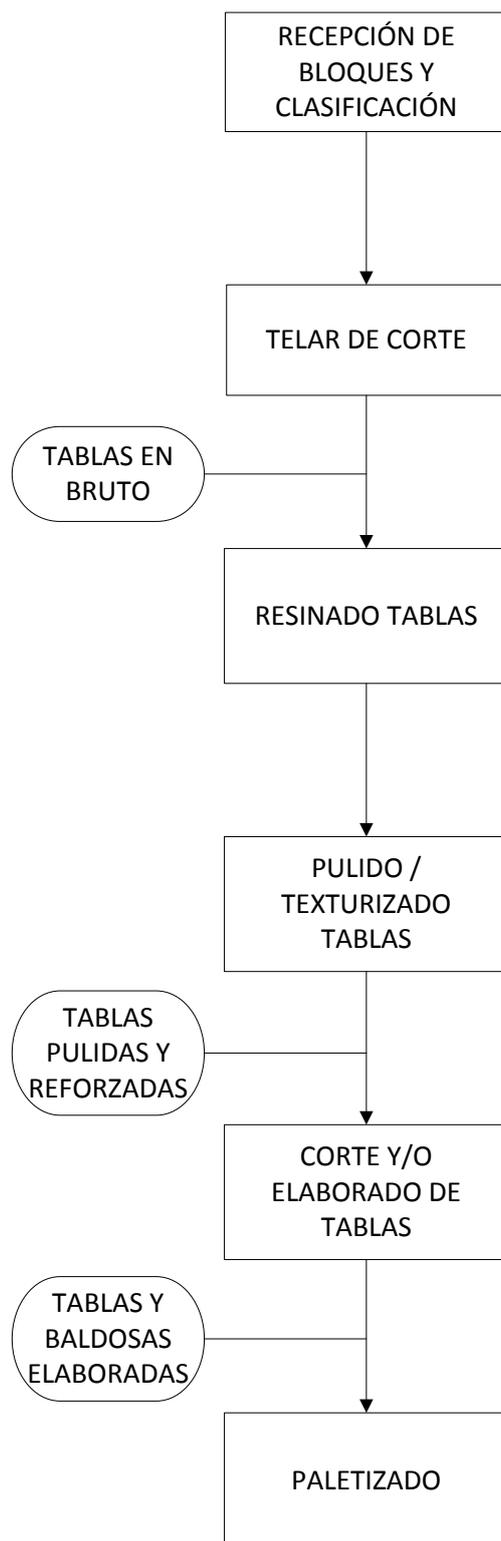


Figura 1. Diagrama de flujo para la fabricación de formatos planos a partir de bloques de piedra natural. Se indican los productos intermedios y los finales.



A continuación se describe brevemente el diagrama de flujo y las operaciones vinculadas:

- **Recepción de bloques y clasificación.** Los bloques son la materia prima principal de este tipo de industria. En general, es fundamental disponer de un cierto stock de bloques. Cuando los bloques se reciben, estos se inspeccionan y clasifican en función del material del que se trate, su estado (forma y discontinuidades visibles) y su clase comercial (que se determina en función de sus características estéticas). En función de su clasificación, el bloque será apto para unos productos finales u otros. En general, se suelen seleccionar bloques considerados con clasificaciones mejores para los productos de mayor valor añadido, fundamentalmente artesanía. La labor de clasificación de bloques debe llevarse a cabo por operarios altamente especializados, ya que requiere de mucha experiencia en la tarea.
- **Corte de bloques en telar.** El trabajo realizado por el telar consiste en transformar un bloque macizo de piedra de unas dimensiones variables, saneado por lo menos en su base y más o menos escuadrado, en planchas de un grosor determinado. El aserrado se efectúa mediante un movimiento alternativo de vaivén rectilíneo de hojas diamantadas dispuestas horizontalmente, sumado al descenso del marco portahojas sobre el bloque. Este último permanece estático en esta fase. El movimiento alternativo de vaivén para el corte se obtiene mediante un sistema biela-volante, accionado por un adecuado motor eléctrico. Todo el proceso de corte del telar se realiza en presencia de agua de refrigeración, de modo que los componentes de la maquinaria deben ser altamente resistentes a la corrosión. El telar de corte es el equipo más característico de la industria de la piedra.



Figura 2. Telar de corte de bloques de piedra natural

- **Resinado de tablas.** Actualmente se utilizan de forma muy extendida las denominadas comúnmente “resinas” para empastar las superficies de los materiales pétreos, bien por la parte posterior a la cara vista, bien por la cara



vista directamente. La aplicación de resinas aporta a la piedra una mejora de las propiedades ya sean mecánicas, técnicas y/o estéticas. En el caso de aplicación en la cara posterior, suele ir acompañada de la colocación de mallas sintéticas o de arenas de diferentes granulometrías para mejorar aún más las propiedades mecánicas y para mejorar, además, el agarre sobre la superficie a colocar en el caso de aplacados. En ciertas piedras, el uso de resinas en la cara vista es imprescindible, debido a la presencia de porosidades u oquedades. En estos casos, la aplicación de las resinas reduce la propiedad de absorción de agua, previniendo en la mayoría de los casos deterioros debidos a esta causa. Tradicionalmente, las resinas se han aplicado de forma manual en condiciones pobremente controladas y en muchos casos muy alejadas de las condiciones óptimas, de modo que esto ha sido fruto de multitud de problemas posteriores. Día a día, se van imponiendo más las líneas de aplicación industrial automatizada o semiautomatizada de este tipo de productos, de modo que se aseguren las propiedades del producto final. Estas líneas incluyen las operaciones de preparación de la piedra (limpieza, atemperado, etc.), la aplicación del producto y las fases posteriores de secado, que generalmente se realiza en hornos de pisos calefactados por combustión de gas natural o propano. Sigue siendo muy importante respetar las recomendaciones del fabricante, incluido las establecidas para el secado y endurecimiento del producto, a pesar de que eso representa muchas veces tiempos de proceso más elevados. Existen multitud de familias químicas que pueden utilizarse como resinas de refuerzo, cada una de las cuales presenta características propias. Las más representativas son las resinas de poliéster y las epoxi. Para el caso del presente estudio se seleccionará una línea de resinado para la aplicación de resina epoxi y malla de fibra de vidrio en la cara no vista de la tabla y resina poliéster en la cara vista. La línea de resinado dispondrá de un horno de pisos (donde se realizará el precalentamiento y el curado de las dos capas de resina aplicadas), un par de estaciones para la aplicación manual de la resina y un volteador de tablas.



Figura 3. Línea de resinado de tablas de piedra natural

- **Pulido / texturizado de tablas.** El acabado superficial en los productos de piedra natural supone un aumento del valor añadido y favorece la diversificación de productos. Al tradicional pulido, se le añaden en la actualidad multitud de acabados superficiales que son en muchos casos modificaciones de ese proceso o técnicas totalmente distintas. El pulido es el tratamiento más frecuente y conocido para mármoles y granitos, rocas que poseen el suficiente grado de cristalinidad para admitirlo, siendo éste el último trabajo al que se someterán las planchas. Se utilizan sucesivamente abrasivos de grano progresivamente decreciente, cuyo objeto es la consecución del brillo. Las máquinas pulidoras generalmente están dotadas de varios brazos con discos abrasivos que realizan el pulimento con movimientos de traslación y rotación sobre la superficie fija de la plancha. Se obtiene una superficie plana y lisa, con un aspecto brillante característico. No presenta ningún tipo de marca, resaltando espectacularmente su textura y colores. El tono es el más oscuro que se puede lograr con un tratamiento superficial. Este procedimiento contribuye a dejar una porosidad cerrada y dota al material de una gran resistencia a las agresiones externas. Los cabezales de pulido pueden cambiarse por otros distintos, de modo que puedan obtenerse acabados superficiales alternativos tales como abujardado, apiconado, escarcilado, etc.



Figura 4: Pulidora industrial para tablas de piedra natural

- **Corte y elaborado de tablas.** Una vez que se dispone de las tablas pulidas, el material pasará a nuevos procesos de corte y elaboración para adaptarlo a su uso final. Dentro del elaborado de los productos planos, podemos considerar tareas tales como redondeado o conformado de cantos, cortes interiores de la pieza para albergar fregaderos o lavabos, mecanizado de zonas de escurrido en encimeras de cocina, etc. Es decir, son todas las operaciones, incluyendo el corte, necesarias para que una tabla de piedra pulida y reforzada pueda transformarse en un producto final. Existe multitud de maquinaria específica aplicable a cada uno de los usos finales. Destacan, entre todas ellas, los

centros de mecanizado, en los que pueden realizarse indistintamente tareas de corte y elaborado. Un centro de mecanizado es una estación simple controlada por CNC. Se trata de una máquina herramienta capaz de fresar, taladrar, cortar, etc. Estas máquinas herramientas están usualmente equipadas con un cambiador automático de herramientas y diseñadas para realizar operaciones sobre distintas superficies de piezas sobre una tabla rotante. Por lo tanto, tras una operación en particular, la pieza no tiene que ser trasladada a otra máquina para una transformación posterior. Sus principales ventajas son el aumento de la productividad y la versatilidad, frente a concebir las operaciones de corte y elaborado de forma independiente.



Figura 5: Centro de mecanizado para el corte y elaborado de piedra natural

- **Paletizado.** Una vez que el producto se termine en la unidad de corte y elaborado, llegará el momento de proceder a su paletizado. En el caso de plaquetas y baldosas, el paletizado suele realizarse en palés. Estos palés suelen tener dimensiones especiales, de modo que se adapten al formato de las piezas y que su planta quede completamente ocupada. De esta forma, se facilita el flejado posterior del palé lleno. Entre las piezas siempre se suele colocar una lámina o espuma plástica que evite el rayado de las superficies pulidas o texturizadas. Una alternativa que suele emplearse para el caso de traslados internacionales son los cajones de madera. En ellos las piezas se colocan de canto y quedan protegidas por la estructura del cajón, que se recubre de corcho para evitar roturas por golpes en la carga y la descarga. En el caso de los elaborados planos, que se seleccione palé o cajón de madera dependerá del tipo de producto y de su destino. Por el mayor valor añadido de este tipo de productos, se suele seleccionar el cajón. En cualquier caso, palé o cajón, el paletizado se realiza de forma manual por operarios, de modo que debe respetarse un espacio físico para realizar esta tarea. Una vez el producto paletizado, el producto terminado estará en condiciones de salir de fábrica.

2. Materiales y métodos.

2.1 Eficiencia operativa: observación y cuestionarios basados en la metodología de las 5S

Tal y como se ha comentado en la introducción del presente trabajo, en la primera de las etapas del trabajo se ha analizado la eficiencia productiva en una empresa de elaboración de piedra natural tomada como ejemplo. Ese análisis puede llevar a la detección de factores que podrían tenerse en cuenta para el diseño de futuras instalaciones industriales. Existen multitud de metodologías con las que puede estimarse la eficiencia productiva de una instalación industrial. En este caso se ha utilizado la metodología 5S.

5 "S" es una herramienta de trabajo que ayuda a conseguir la optimización del trabajo diario, así como la reducción de costes, maximizando el valor aportado al cliente con el menor desperdicio posible. Se inició en Toyota en los años 1960 con el objetivo de lograr lugares de trabajo mejor organizados, más ordenados y más limpios de forma permanente para lograr una mayor productividad y un mejor entorno laboral.

Las 5S han tenido una amplia difusión y son numerosas las organizaciones de diversa índole que lo utilizan, tales como empresas industriales, empresas de servicios, hospitales, centros educativos o asociaciones.

La integración de las 5S satisface múltiples objetivos. Cada 'S' tiene un objetivo particular:

- 1.- Organización
- 2.- Orden
- 3.- Limpieza
- 4.- Control Visual
- 5.- Hábito / Disciplina

Las 5S son un método de mejora continua, que se apoyan en auditorías regulares para cuantificar el estado de una organización en un momento puntual. En el caso del presente trabajo se utiliza un cuestionario de auditoría 5S para cuantificar o puntuar el nivel de eficiencia operativa de una empresa de piedra. Con los resultados obtenidos de esos cuestionarios y las observaciones derivadas del trabajo de campo se pueden extraer una serie de conclusiones muy útiles para ser tenidas en cuenta en el diseño de una nueva instalación industrial.

La metodología 5S se desarrolla en numerosas referencias bibliográficas, si bien, pueden destacarse los libros del japonés Hirano, 1997 y el argentino Dorbessan, 2006 (disponible gratuitamente en versión digital). Con estas referencias se pueden desarrollar cuestionarios de auditoría aplicables a cualquier tipo de instalación industrial.



2.2 Metodología S.L.P. para el diseño de Layouts industriales

Para el desarrollo de la distribución en planta existen distintas metodologías, entre las cuales se usará el método S.L.P.

El método S.L.P. es una forma organizada de enfocar los proyectos de distribución en planta. Consiste en fijar:

- Un cuadro operacional de fases
- Una serie de procedimientos
- Un conjunto de normas que permitan identificar, valorar y visualizar todos los elementos que intervienen en la preparación de la distribución en planta.

El proceso a seguir es:

- 1.- Identificación de departamentos y actividades.
- 2.- Realización de la Tabla Relacional de Actividades.
- 3.- Desarrollo del Diagrama Relacional de Actividades.
- 4.- Determinación de superficies.
- 5.- Desarrollo del Diagrama Relacional de Superficies.
- 6.- Realización de bocetos y selección de la mejor Distribución en Planta.

La metodología S.L.P. fue desarrollada por Muther, 1981.

3. Resultados.

3.1 Estudio de eficiencia operativa mediante metodología 5S

Tal y como se ha explicado anteriormente, se seleccionó una fábrica de elaboración de piedra natural tomada como ejemplo para el desarrollo de la primera fase de estudio del presente trabajo. Por motivos de confidencialidad se obvia el nombre de esta empresa.

Los resultados del estudio de la eficiencia operativa de la fábrica a través de la metodología 5S, así como los cuestionarios utilizados, se muestran a continuación:



	Nº	ASPECTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	OBSERVACIONES
ORGANIZACIÓN	1.1	Objetos inútiles por la fábrica			X									
	1.2	Objetos rotos degradados en y alrededor de la zona		X										
	1.3	Tuberías perforadas, fugas							X					
	1.4	Instrumentos de medida rotos o en mal estado												No Aplica
	1.5	Cables conectores inútiles			X									
	1.6	Visores, topes o botones rotos												No Aplica
	1.7	Cárteres rotos	X											
	1.8	Reparaciones de urgencia (pegamento, hilo de hierro, papeles, trapos....)							X					
	1.9	Utillajes inútiles o inutilizables				X								
	1.10	Precintos rotos							X					
	1.11	¿Se vacían regular y suficientemente los cubos de basura?						X						Vagonetas
	1.12	Documentos del puesto de trabajo inútiles o caducados							X					
	1.13	Objetos inútiles o inutilizables en el interior de armarios o estanterías		X										
	1.14	Instrumentos de control que no se utilizan en el área								X				
	1.15	Elementos en el suelo, en paredes, etc	X											
	1.16	Elementos inútiles en sitios mal iluminados												No Aplica
	1.17	Carros, traspaletas, etc inútiles o mal utilizados							X					
	1.18	Cajas mal utilizadas o degradadas							X					
	1.19	Palets mal utilizados o inútiles en el area de trabajo							X					
	1.20	Jaulas degradadas, con precintos, etc								X				
	1.21	Armarios, mesas, estanterías que no se utilizan en el área								X				
TOTAL ORGANIZACIÓN= 180			0	2	4	3	0	5	42	21	0	0	0	42.78%

Tabla 1. Cuestionario y evaluación del factor organización según metodología 5S



	Nº	ASPECTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	OBSERVACIONES	
ORDEN	2.1	Los utillajes están ordenados en lugares previstos a tal efecto		X											
	2.2	Los consumibles están correctamente ordenados					X								
	2.3	Los medios de limpieza están correctamente ordenados en sitios previstos		X											
	2.4	Los útiles están en buen lugar en el panel de ordenación	X												
	2.5	Los cables están agrupados							X						
	2.6	Lo documentos de linea están visibles y correctamente (no al revés, tapándose, etc)				X									
	2.7	Los soportes de la documentación son los correctos y adecuados				X									
	2.8	Los elementos de medida, instrumentos de control o ensayo están ordenados en buenos lugares					X								
	2.9	Los bancos, banquetas y sillas están correctamente ordenados													No Aplica
	2.10	No hay efectos personales cerca de armarios, mesas y estanterías								X					
	2.11	Los palet están en los lugares correctos				X									
	2.12	Los útiles están visibles y correctamente oredenados		X											
	2.13	Los residuos se separan correctamente				X									
	2.14	Las mesas de trabajo tienen el material que tienen que tener									X				
TOTAL ORDEN=130			0	3	0	12	8	0	12	7	0	0	0	32.31%	

Tabla 2. Cuestionario y evaluación del factor orden según metodología 5S



	Nº	ASPECTO												OBSERVACIONES			
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
LIMPIEZA	3.1	Papeles, trapos en o alrededor de las zonas de trabajo							X								
	3.2	Manchas de aceite, de grasa, jabón o pintura en la zona							X								
	3.3	Visores, topes o botones visibles y limpios					X										
	3.4	Superficies y cuadros limpios, suficientemente visibles							X								
	3.5	Utellajes, útiles limpios					X										
	3.6	Instrumentos limpios y suficientemente visibles					X										
	3.7	Las fuentes de suciedad están identificadas				X											
	3.8	El plan de acción se ha puesto en marcha para suprimir o eliminar las fuentes de suciedad	X														
	3.9	Las gamas de limpieza son aplicadas	X														
	3.10	Las fuentes de suciedad disminuyen progresivamente															No Aplica
	3.11	Los armarios, estanterías están limpios por fuera y por dentro					X										
	3.12	Las áreas de trabajo están limpias						X									
	3.13	El suelo está limpio (sin manchas de aceite, de pintura ni objetos esparcidos)							X								
	3.14	Las paredes y los cerramientos están limpios					X										
	3.15	Lugares mal iluminados								X							
	3.16	Los carros, jaulas, traspaletas, etc están limpios							X								
	3.17	Las ruedas de las traspaletas están limpias															No Aplica
TOTAL LIMPIEZA=150			0	0	0	3	20	5	30	7	0	0	0			43.33%	

Tabla 3. Cuestionario y evaluación del factor limpieza según metodología 5S



	Nº	ASPECTO											OBSERVACIONES					
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10				
CONTROL VISUAL	4.1	Las zonas están pintadas siguiendo un código de colores	X															
	4.2	Las tuberías están codificadas por colores	X															
	4.3	Los medios de ordenación de útiles y utillajes están claramente definidos e identificados		X														
	4.4	Los lugares para ordenar los consumibles están claramente definidos e identificados		X														
	4.5	Los lugares para ordenar los materiales de limpieza están claramente definidos e identificados		X														
	4.6	Las válvulas, manillas, palancas, llaves de paso, etc están marcadas y el sentido del giro identificado		X														
	4.7	Los cubos de basura están identificados por colores		X														
	4.8	Se ha puesto un plan general de orden	X															
	4.9	Los lugares peligrosos están claramente identificados		X														
	4.10	El lugar de los objetos en los armarios están identificados		X														
	4.11	En las estanterías donde están los utillajes de cambio estan claramente identificado por utillaje		X														
	4.12	En los paneles, las diferentes secciones están identificadas (titular, límites, bordes..)	X															
	4.13	Los emplazamientos de las cajas, traspaletas, palets, jaulas, etc están definidos y claramente identificados		X														
	4.14	Los pasillos están identificados y marcados		X														
	4.15	El suelo está pintado			X													
	4.16	Los emplazamientos de objetos están identificados y marcados		X														
	4.17	El material de seguridad está en buen estado y perfectamente señalizado			X													
	4.18	Las puertas de protección están cerradas			X													
	4.19	Los útiles están definidos y claramente identificados y a la vista		X														
TOTAL CONTROL VISUAL=190			0	12	6	0	0	0	0	0	9.47%							

Tabla 4. Cuestionario y evaluación del factor control visual según metodología 5S



DISCIPLINA Y HABITO	Nº	ASPECTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	OBSERVACIONES	
	5.1	Existe un plan de orden y limpieza definido	X												
	5.2	Se sigue la progresión del plan de 5s	X												
	5.3	Hay acciones definidas derivadas del plan de 5s	X												
	5.4	Hay un responsable de 5S en el área	X												
	5.5	La gama de verificación y control ha sido revisada como mínimo 4 veces	X												
	5.6	La gama de engrases ha sido revisada como mínimo 4 veces	X												
	5.7	Las gamas de limpieza están definidas y son revisadas	X												
	5.8	Las gamas de limpieza han sido revisadas como mínimo 4 veces	X												
	5.9	Los sistemas controles y paneles visuales son alimentados	X												
	5.10	Los planes de acción derivados de el sistema 5s están a la vista de todo el personal del area	X												
	5.11	Hay responsable y fecha definido para cada plan de acción	X												
	5.12	Hay reuniones periódicas para la revisión del plan de 5S	X												
DISCIPLINA Y HABITO=120			0	0.00%											

Tabla 5. Cuestionario y evaluación del factor disciplina y hábito según metodología 5S



Los resultados globales se pueden representar en la siguiente tabla y gráfico resumen:

ASPECTO	VALOR TOTAL AUDITORÍA	ESTADO
ORGANIZACIÓN	42.78%	MAL
ORDEN	32.31%	MAL
LIMPIEZA	43.33%	MAL
CONTROL VISUAL	9.47%	MAL
DISCIPLINA Y HABITO	0.00%	MAL

Tabla 6: Resumen de resultados de la auditoría de eficiencia productiva

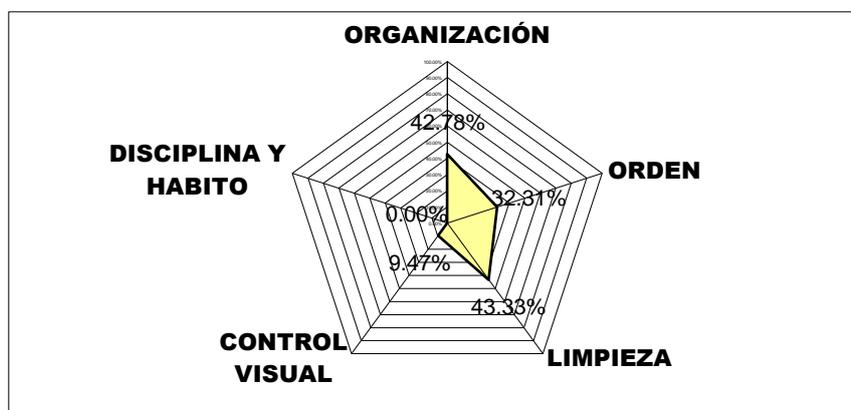


Figura 6: Resumen gráfico de resultados de la auditoría de eficiencia operativa

A continuación se muestran unas imágenes aclaratorias del estado actual y de los resultados obtenidos:





Figura 7: Conjunto de imágenes de estado de la instalación industrial objeto de estudio





Figura 8: Conjunto de imágenes de estado de la instalación industrial objeto de estudio



Cabe destacar que imágenes como estas podrían encontrarse en gran cantidad de empresas de la zona, por eso el interés del presente estudio. Como puede verse, hay materias primas, material semielaborado y producto terminado desparramados por toda la fábrica, sin que tengan un espacio definido. Ocurre lo mismo con las herramientas, materiales auxiliares, EPI's de los trabajadores, etc.

Con estos resultados obtenidos en la auditoría y tras la inspección visual realizada puede extraerse una serie de propuestas de mejoras aplicables al diseño de layouts de nuevas instalaciones industriales:

- El trasiego de material (materias primas, producto intermedio y producto terminado) dentro de la instalación industrial es un factor fundamental a ser tenido en cuenta en la eficiencia operativa de una empresa de elaboración de piedra natural por tres motivos principales: costes de transporte (materia prima de elevado peso y gran fragilidad), orden y seguridad para el operario (el transporte del material, sobre todo de los bloques, puede considerarse de alto riesgo). Es muy importante en una instalación industrial que **los transportes y desplazamientos sean los mínimos posibles**.
- **Deben definirse explícitamente en el layout zonas de almacenamiento para materias primas, productos intermedios y productos finales**. Las zonas de almacenamiento deben estar dimensionadas para una capacidad determinada. Por encima de esa capacidad definida, no debe admitirse material excedente para no colapsar el espacio disponible ni ocupar zonas adyacentes.
- Debe definirse **una zona de almacenamiento de material sobrante**, si éste se desea aprovechar para futuros pedidos, o bien, debe eliminarse de la fábrica todo material excedente para evitar colapsos de espacio por acumulación de material. Por encima de la capacidad de este almacén, cualquier excedente de sobrantes no debe ser admitido.
- Es necesario definir una **zona de taller** perfectamente delimitada donde se alberguen herramientas auxiliares para ajustes de máquinas, mantenimiento, etc.
- Del mismo modo, es necesario definir una **zona de almacenamiento de fungibles** perfectamente delimitada donde se alberguen todo tipo de fungibles necesarios para las operaciones, fundamentalmente herramientas de corte, pastillas de abrasivo y resinas para refuerzo.
- Es crucial imponer una serie de **hábitos y disciplinas** a los trabajadores de la instalación industrial, una vez está en funcionamiento, para conseguir de manera continuada la eficiencia operativa. Si esto no se aplica, pocos resultados de mejora operativa se podrán obtener a pesar de haber diseñado un layout adecuado.

A partir de estas observaciones de una instalación modelo en funcionamiento, se está en condiciones de aplicar la metodología SLP para una instalación industrial de elaboración de piedra natural. Podemos, de este modo, ampliar el diagrama de flujo de fabricación de los aplacados de piedra teniendo ahora en cuenta los puntos de almacenamiento descritos anteriormente (se considera que la instalación no aprovecha el material sobrante):



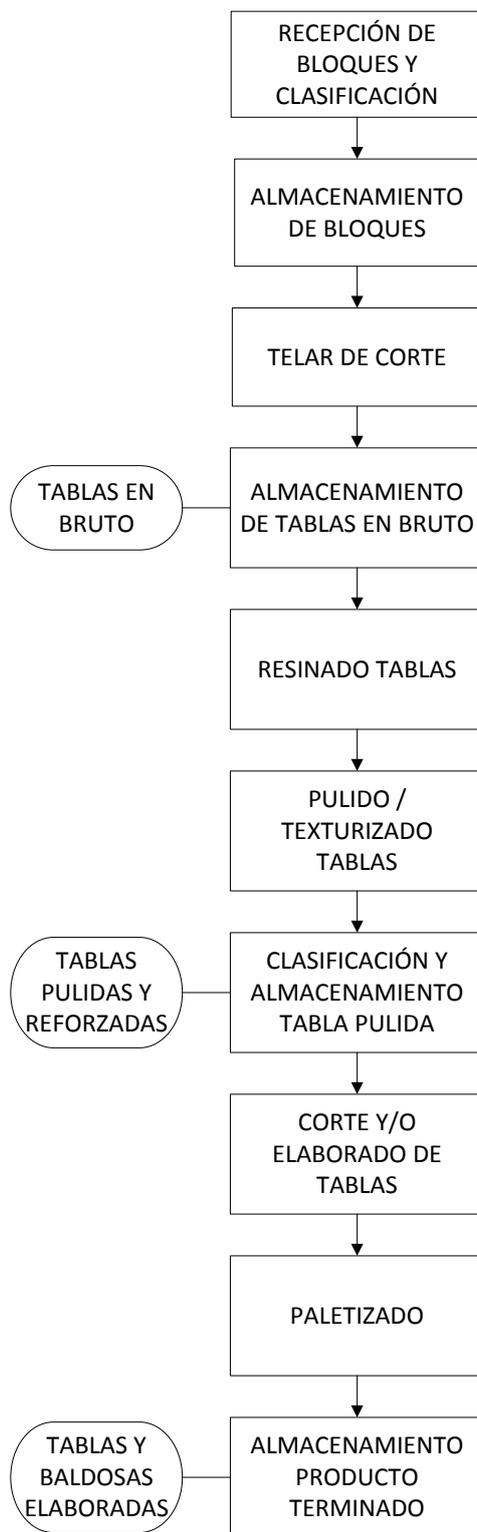


Figura 9: Diagrama de flujo de operaciones de aplacados de piedra teniendo en cuenta almacenamientos intermedios



3.2. Diseño de layout según metodología S.L.P.

3.2.1. Identificación de departamentos y actividades

En este primer apartado se presentan las actividades y departamentos que estarán incluidas en el desarrollo del proyecto.

El trabajo realizado se centrará en una fábrica de elaboración de producto plano, no se considerará la artesanía. Los departamentos o actividades definidos son los siguientes:

1. Oficinas
 - Dirección
 - Administración
 - Oficina técnica
 - Sala de reuniones
2. Locales para el personal: vestuarios y aseos
3. Taller mecánico y de repuestos
4. Almacén de fungibles: abrasivos, resinas, etc.
5. Depósito de combustible (gasoil) para los hornos de secado y curado
6. Zona de recepción, clasificación y almacenamiento de bloques
7. Telar de corte
8. Zona de almacenamiento de tablas en bruto
9. Línea de secado, enmallado, resinado y curado de tablas en bruto
10. Línea de pulido y texturizado de tablas
11. Zona de almacenamiento de tablas pulidas
12. Zona de corte, despiece y elaborado de producto plano
13. Zona de paletizado
14. Zona de almacenamiento de producto terminado

3.2.2. Tabla relacional de actividades

La Tabla Relacional es un cuadro en el que aparecen las relaciones entre cada actividad y todas las demás actividades.

La tabla relacional permite integrar los servicios anexos a los servicios productivos y operacionales y, además, permite prever la disposición de los servicios y de las oficinas en los que no hay recorrido de productos.

Cada casilla tiene dos elementos: la letra de la parte superior indica la valoración de las proximidades (la importancia de la relación), y el número de la parte inferior justifica la valoración de las proximidades (el motivo de dicha importancia).

Así pues, para cada relación tendremos un valor y unos motivos que lo justifican, como podemos ver en las siguientes dos tablas:



Tipo de relación	Definición
A	Absolutamente necesaria
E	Especialmente necesaria
I	Importante
O	Ordinaria
U	Sin importancia
X	No deseable

Código	Motivos
1	Flujo de materiales
2	Facilidad de supervisión
3	Personal
4	Contacto necesario
5	Conveniencia

Tabla 7: Cuadro de relaciones

Como puede verse, se ha utilizado también un código de colores para establecer las relaciones.

Con todo esto, se ha realizado el diagrama relacional de actividades. En este caso, por mayor facilidad de ejecución, se ha elaborado una tabla diagonal en la que se ha utilizado el código de colores para facilitar la visualización de relaciones:



ACTIVIDADES	1. Oficinas	2. Vestuarios y aseos	3. Taller mecánico	4. Almacén de fungibles	5. Depósito de combustible	6. Zona de bloques	7. Telar de corte	8. Zona de tablas en bruto	9. Línea de resinado	10. Línea de pulido	11. Zona de tablas pulidas	12. Zona de corte y elaborado	13. Zona de paletizado	14. Zona de producto terminado
1. Oficinas		O 3	U -	U -	U -	O 2	X -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	O 2
2. Vestuarios y aseos	O 3		U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -
3. Taller mecánico	U -	U -		O 5	U -	U -	O 2	U -	O 2	O 2	U -	O 2	U -	U -
4. Almacén de fungibles	U -	U -	O 5		U -	U -	U -	U -	I 1	I 1	U -	U -	U -	U -
5. Depósito de combustible	U -	U -	U -	U -		U -	U -	U -	A 5	U -	U -	U -	U -	U -
6. Zona de bloques	O 2	U -	U -	U -	U -		E 1	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -
7. Telar de corte	X -	U -	O 2	U -	U -	E 1		E 1	U -	U -	U -	U -	U -	U -
8. Zona de tablas en bruto	U -	U -	U -	U -	U -	U -	E 1		E 1	U -	U -	U -	U -	U -
9. Línea de resinado	U -	U -	O 2	I 1	A 5	U -	U -	E 1		E 1	U -	U -	U -	U -
10. Línea de pulido	U -	U -	O 2	I 1	U -	U -	U -	U -	E 1		E 1	U -	U -	U -
11. Zona de tablas pulidas	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	E 1		E 1	U -	U -
12. Zona de corte y elaborado	U -	U -	O 2	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	E 1		E 1	U -
13. Zona de paletizado	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	E 1		E 1
14. Zona de producto terminado	O 2	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	U -	E 1	

Tabla 8: Tabla relacional de actividades



La justificación de la relación no deseable entre la actividad 1 (oficinas) y la actividad 7 (telar de corte) radica en que el ruido y las vibraciones ocasionadas por el telar de corte son muy molestas para el trabajo en oficinas y puede llevar a una pérdida de rendimiento efectivo del trabajo importante.

3.2.3. Diagrama relacional de actividades

A partir de la tabla relacional se realiza el diagrama nodal, que va a establecer la disposición relativa de los departamentos.

Se dispone en primer lugar el departamento que tenga más relaciones A (en caso de empate se ponen ambos) en la posición central. Una vez dispuesto el primer departamento, se colocan a su alrededor el resto de los departamentos dependiendo del tipo de relación que tengan unos con otros. Se empezará siempre por las relaciones tipo A existentes entre los diferentes departamentos ya colocados. En caso de no existir ya más relaciones tipo A se pasaría a las de tipo E, I, O, U y X.

Los departamentos se representan con cuadrados, y las relaciones entre ellos se representan con líneas. Dentro del cuadrado vendrá el número del departamento. El grado de importancia de la relación se representa a través del color de la línea de unión, según el código de colores que se propuso en el cuadro anterior.

El diagrama relacional de actividades, una vez ordenado, quedaría de la siguiente forma:



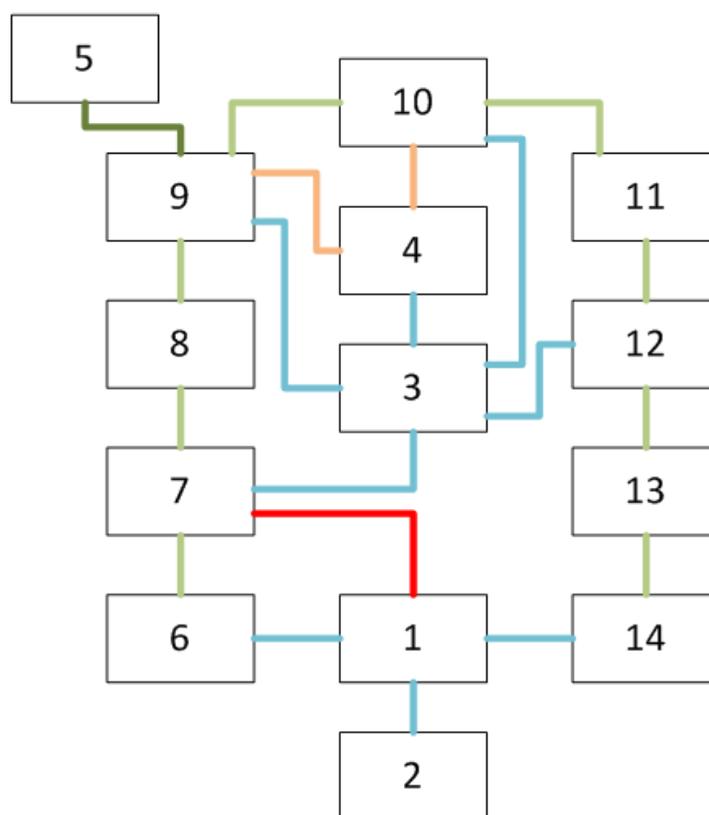


Figura 10: Diagrama relacional de actividades

3.2.4. Determinación de superficies

La determinación de superficies se ha realizado tomando como referencia algunas plantas industriales de piedra natural que se conocen. Se han estimado considerando una instalación industrial de capacidad media – baja que, son las más frecuentes en la comarca de Macael. Con esto, pueden determinarse las áreas más apropiadas para cada actividad:

ACTIVIDADES	ANCHO (m)	LARGO (m)	ÁREA (m ²)
1. Oficinas	5	8	40
2. Vestuarios y aseos	5	8	40
3. Taller mecánico	5	8	40
4. Almacén de fungibles	5	4	20
5. Depósito de combustible	2.5	4	10
6. Zona de bloques	20	20	400
7. Telar de corte	6	15	90
8. Zona de tablas en bruto	10	10	100
9. Línea de resinado	7	40	280
10. Línea de pulido	7	30	210
11. Zona de tablas pulidas	10	10	100
12. Zona de corte y elaborado	7	10	70
13. Zona de paletizado	10	10	100
14. Zona de producto terminado	10	10	100
Suma:			1.600

Tabla 9: Tabla de superficies

3.2.5. Diagrama relacional de superficies

Una vez conocidas las áreas de cada una de las actividades, puede realizarse el equivalente al diagrama relacional de actividades, pero dibujando cada bloque a escala, teniendo en cuenta su superficie.

Con esta premisa, puede obtenerse la siguiente representación:

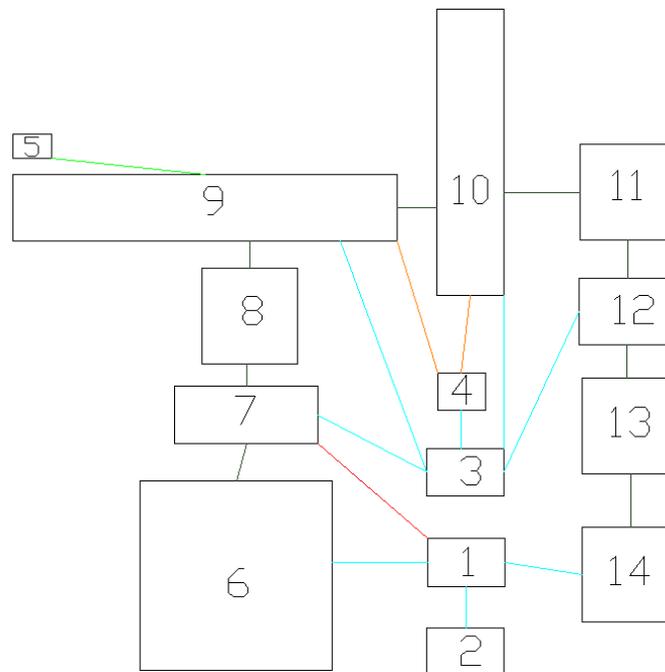


Figura 11: Diagrama relacional de superficies



3.2.6. Realización de bocetos y selección de la mejor distribución en planta

A partir del diagrama relacional de superficies pueden realizarse las propuestas de layout para estudiarlas y llegar a la óptima. En este caso, el estudio ha llevado a las tres propuestas siguientes:

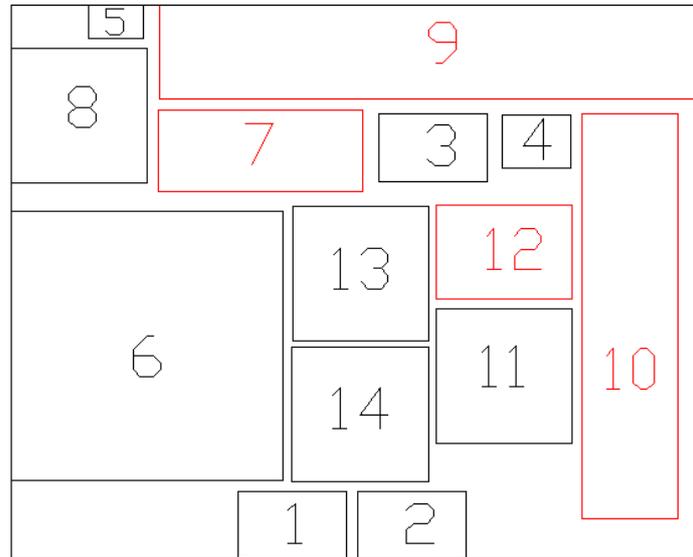


Figura 12: Alternativa de layout 1. Área total efectiva de 2.096 m²

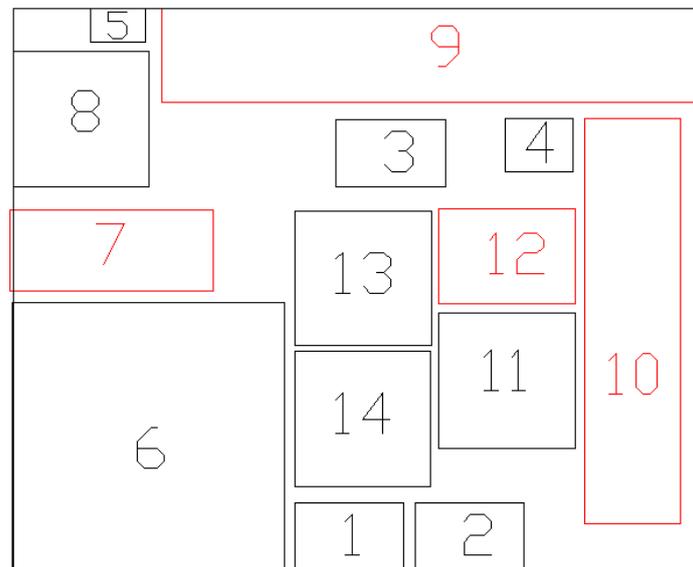


Figura 13: Alternativa de layout 2. Área total efectiva de 2.121 m²

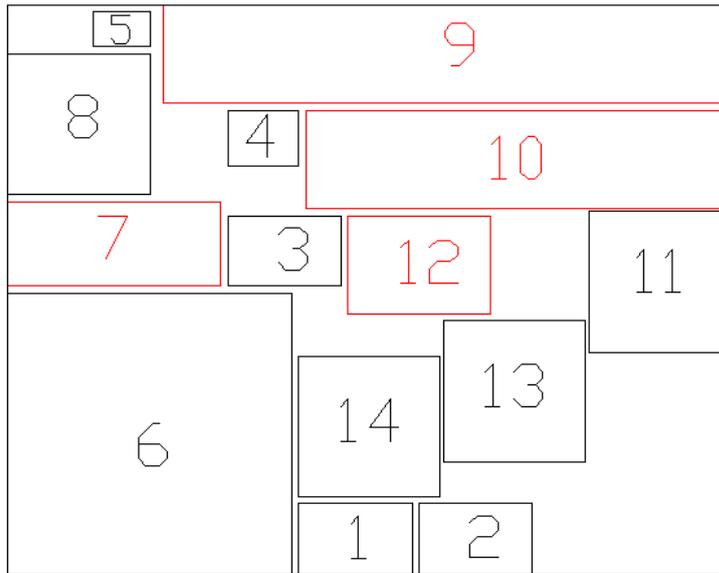


Figura 14: Alternativa de layout 3. Área total efectiva de 2.065 m²

Se han marcado en rojo las unidades que constituyen maquinaria, para tener una idea un poco más clara de la superficie ocupada por equipamientos frente a la ocupada por zonas de almacenamiento, servicios, etc.

Se va a realizar una valoración de las distintas alternativas propuestas en base a los siguientes criterios:

CRITERIO	CONCEPTO
1	Mayor aprovechamiento del espacio (menor superficie ocupada)
2	Mayor agrupación de áreas comunes (maquinaria, almacén y oficinas)
3	Grado de adecuación del espacio para la instalación y operatividad de maquinaria (cercanía de la maquinaria a las paredes para la conexión de instalaciones y posibles interferencias de la máquina instalada con el flujo de materiales en fábrica)
4	Minimización de recorridos
5	Factibilidad para futuras ampliaciones (nuevas máquinas y nuevas zonas de almacén)

Tabla 10: Cuadro de criterios de valoración de alternativas

Los criterios se valorarán de 0 a 5 para cada una de las alternativas de layout propuestas. La valoración final queda del siguiente modo:



CRITERIO	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	4	4	5
2	5	3	4
3	2	4	2
4	4	5	3
5	3	3	4
TOTAL	18	19	18

Tabla 11: Cuadro de valoración de alternativas

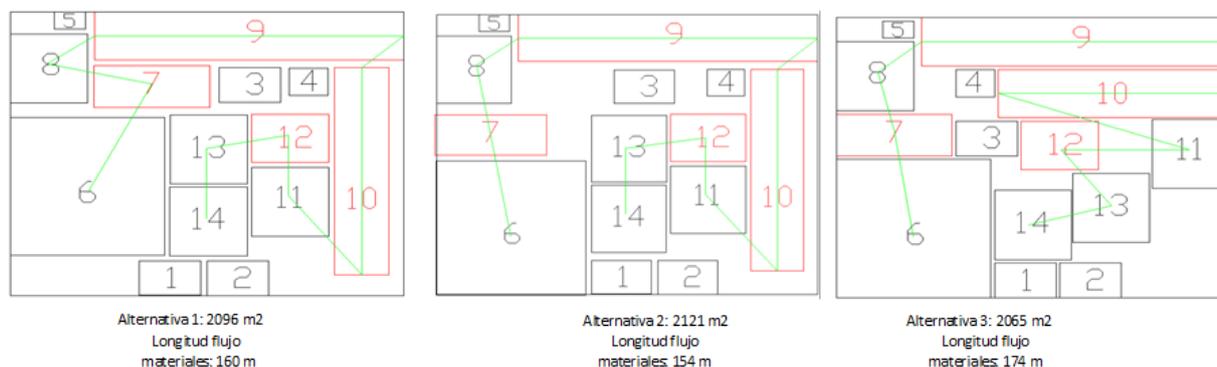


Figura 15: Resumen de las tres alternativas propuestas

Así pues, según la aplicación del cuadro de valoración, podemos decir que la mejor alternativa según los criterios empleados es **la alternativa 2**.

4. Discusión.

Con los resultados obtenidos en el punto anterior, se está en disposición de elaborar los planos de distribución de una instalación modelo de piedra natural. Esa es la principal aplicación práctica del estudio realizado. Se presenta a continuación esa distribución modelo, donde se han utilizado representaciones de equipos reales y se ha dimensionado la capacidad máxima de la instalación con los espacios definidos en apartados anteriores:

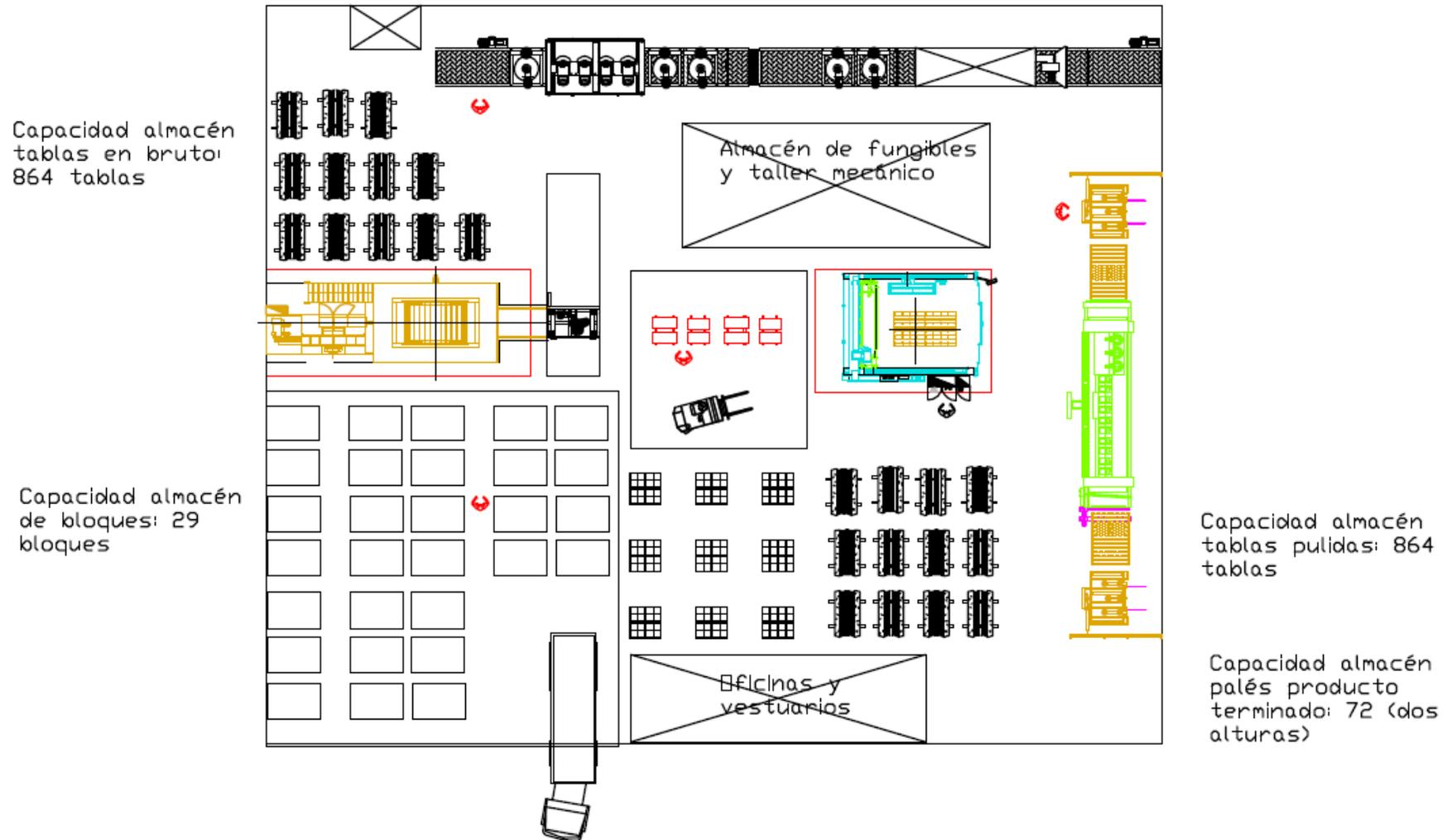


Figura 16. Layout de una instalación industrial modelo de elaboración de piedra natural



El layout se ha planteado en un espacio rectangular, si el espacio disponible tuviera otra forma, se podría adaptar según esa geometría respetando de la mejor manera posible el diagrama relacional de superficies. El layout así planteado permite la ampliación de la instalación industrial en caso de que sea necesario aumentar la capacidad de almacenamiento (crecimiento en los lados izquierdo e inferior del rectángulo que alberga la distribución en planta), o bien, aumentar la capacidad productiva a través de nuevas máquinas (lados superior y derecho del rectángulo). De hecho, si el espacio lo permite, sería recomendable ubicar una placeta en el exterior de la nave en los lados izquierdo e inferior del rectángulo. Si por normativa o por conveniencia también fuera necesario implantar una depuradora para trabajar en circuito cerrado con el agua de refrigeración, también se podría ubicar en el lado izquierdo, cerca del telar de corte que es la máquina con mayor consumo de agua. Sería recomendable, en ese caso, que las tuberías o canales de recogida de agua tuvieran una cierta inclinación hacia la depuradora para evitar bombeos.

Pocas comparativas se pueden realizar de los resultados presentados en este trabajo con otros realizados por otros autores para fábricas de elaboración de piedra natural. Si se consulta la bibliografía de investigación, no se encuentran referencias de estudios de layouts para este tipo de industrias. Así pues, simplemente la aplicación de la metodología S.L.P. a fábricas de piedra natural puede considerarse como una novedad, al menos si se atiende a resultados publicados.

En otras industrias, sin embargo, sí existen aplicaciones de estas técnicas de optimización de espacios industriales que han resultado altamente efectivas. Tal y como ya se comentó en apartados anteriores del trabajo, según un artículo publicado por Reza y Sule en 1.991, cuando el layout es eficiente, el coste de manipulación y transporte de material puede llegar a reducirse hasta en un 60% en un entorno de fabricación y, por tanto, cualquier eficiencia lograda del desarrollo de un buen layout contribuye directamente a la disminución del coste unitario de producto. Un buen layout también minimiza las necesidades posteriores de modificaciones en la distribución en planta. En el caso de las industrias de la piedra natural los desplazamientos del material pueden considerarse como un aspecto crítico, por lo que es altamente recomendable reducir al máximo los desplazamientos de los flujos de materiales.

El algoritmo empleado en este caso práctico ha sido un algoritmo sencillo realizado manualmente. Existen multitud de algoritmos computerizados basados en cálculos complejos que hubiera sido conveniente utilizar en este caso para obtener mejores resultados. Esto no ha sido posible por no disponerse de los programas específicos. Algunos ejemplos de esos algoritmos pueden encontrarse en la bibliografía, como el método propuesto por Pérez y col., 2004, el propuesto por Reza Ziai y col., 1991 o el propuesto por Yang y Hung, 2007. Existen, por otro lado, dos artículos tipo review, el de Kusiak y Herague, 1987 y el más moderno de Dira y col., 2007 que presentan un resumen muy útil de algunos de los algoritmos existentes y como plantear el problema del diseño de layouts desde distintas perspectivas. Como trabajo futuro se recomienda llevar este caso de estudio a la aplicación de uno de esos algoritmos más complejos y comparar los resultados obtenidos.



El método base, S.L.P., sin embargo, es un método sistemático muy interesante por su simplicidad para plantear los problemas de distribución en planta que luego pueden ser procesados según esos algoritmos para obtener buenas soluciones. Puede decirse que sin una buena aplicación de la metodología S.L.P. sería difícil obtener buenas distribuciones en planta, aún a pesar de disponer de los algoritmos de decisión. La metodología se puede aplicar a cualquier tipología de industria, que puede ser tan particular como una granja de cabras (Pérez y col., 2004) por lo que el método es muy versátil.

Por otro lado, la metodología 5S, ampliamente utilizada en fábricas automovilísticas, se configura como una herramienta de sencilla aplicación para generar diagnósticos de eficiencia operativa en instalaciones industriales. Se recomienda mucho el utilizar esta metodología una vez implantado el layout para evaluar su eficiencia y comparar en distintos estados de capacidad productiva, plan de producción, etc. En este caso, la eficacia del nuevo layout no podrá ser evaluada frente a la de una industria tradicional de las ahora mismo existentes hasta que este layout, o uno similar basado en los mismos preceptos de partida y los mismos métodos de optimización, no se implante y ponga en marcha.

A falta de registros documentales de la aplicación de este tipo de métodos de diseño de layout y evaluación de la eficiencia productiva en industrias de piedra natural, este estudio puede establecerse como la base de una nueva generación de fábricas de elaboración de piedra natural. Esa eficiencia se define en la fase del diseño de la instalación y se mide en la fase de desarrollo de la actividad. Cuantificar la eficiencia operativa en concepto de ahorros económicos podría ser una muy buena justificación para la adopción de este tipo de métodos.

5. Conclusiones.

Las conclusiones que pueden extraerse del presente trabajo son las siguientes:

- El diseño efectivo de layouts de instalaciones industriales y la aplicación de herramientas para la evaluación de la eficiencia productiva ya se ha demostrado en otras industrias que acarrearán una disminución de los costes operativos y, por tanto, aumentan la rentabilidad de una instalación. Puede asumirse, por tanto, que provocarán el mismo efecto en industrias de elaboración de piedra natural, no suponiendo nunca un perjuicio.
- Existen factores operativos que deberían ser tenidos en cuenta a la hora del diseño del layout y de la operativa de una industria de elaboración de piedra natural. Pueden ser considerados como recomendaciones muy valiosas para este tipo de industrias y los más destacables son los siguientes:
 - o Desplazamientos de la materia prima y el producto en curso a lo largo del proceso productivo. Deben minimizarse para ahorrar costes y mejorar la seguridad de los operarios.
 - o Existencia de almacenes correctamente dimensionados para materias primas, productos intermedios y productos finales. No debe admitirse superar las capacidades máximas de dichos almacenes para no saturar los espacios y disminuir la eficacia operativa de las instalaciones. Los



- almacenes no deben ubicarse en localizaciones arbitrarias, debiendo respetar el flujo de materiales de la instalación.
- o Existencia de almacenes para herramientas y reparación de elementos mecánicos, así como almacenes para fungibles. La no existencia de estos almacenes conlleva muchos elementos en las fábricas sin ubicación definida y que quedan finalmente desperdigados por la instalación.
- o Es muy importante definir una serie de hábitos y disciplinas en las instalaciones industriales de elaboración de piedra natural en funcionamiento para medir y mejorar de forma continuada la eficiencia operativa.
- A partir de la aplicación de la metodología S.L.P. puede llegarse al diseño de layout de una instalación industrial para la elaboración de piedra natural modelo. Sería necesario realizar un estudio de eficiencia operativa sobre una industria en funcionamiento basada en este layout y compararlo con otras industrias para demostrar y cuantificar la mejora que puede acarrear. Por los resultados obtenidos en otras industrias, sin embargo, es altamente recomendable implantar la distribución en planta propuesta.

6. Agradecimientos

El presente trabajo no habría sido posible sin el apoyo de José Pérez Alonso, tutor del trabajo, por su entusiasmo y comprensión.

Expresar también un especial agradecimiento a la Fundación Centro Tecnológico Andaluz de la Piedra, sin la cual no hubiera sido posible disponer de información de primera mano de la industria de la piedra natural en Andalucía y, más concretamente, en el área de Macael.

7. Referencias.

- Pérez J., Santamarina M., Vallés J., Peña A., Valera D., and Carreño A. "Optimal Layout Design for Milk Goats Livestock Farms Using Genetic Algorithms". *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Manuscript BC 03 019 . Vol.VI. December, 2004.
- Muther, Richard. 1981. *Distribución en planta*. Ed. Hispano-Europea S.A. Barcelona. España.
- Reza Ziai M., Dileep R. Sule. "Computerized Facility Layout Design". *Computers ind. Engng* Vol. 21, Nos 1-4, pp. 385-389, 1991.
- Drira A., Pierreval H., Hajri-Gabouj S. "Facility layout problems: A survey" *Annual Reviews in Control* 31 (2007) 255-267.
- Dorbessan J. *Las 5'S Herramientas de cambio*. Editorial Universitaria de la U.T.N. (2006).
- Hirano H. *5'S para todos*. Productivity Press, 1997.



- Yang T., Hung. C.-C. "Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem" *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 23 (2007) 126-137
- Kusiak A., Herague S. "The facility layout problem". *European Journal of Operational Research* 29 (1987) 229-251

