

EDUARDO GONZÁLEZ FRAILE

Arquitecto. Instituto Español de Arquitectura. Universidad de Valladolid.

INVESTIGACIÓN Y APLICACIONES DE LA RADIACIÓN LÁSER A LA LIMPIEZA DE ARQUITECTURA MONUMENTAL.

INTRODUCCIÓN

El interés de los investigadores de diferentes países respecto a la Investigación y aplicaciones de la radiación láser a la limpieza de Arquitectura Monumental, así como el del público en general y el de todos los participantes en la restauración de materiales culturales: Arquitectos, Aparejadores, Restauradores, Empresas de Restauración, Instituciones, Museos, Laboratorios y Centros de Investigación, Universidades, fabricantes de máquinas, etc. es cada vez mayor, habida cuenta de la calidad de los resultados y del reto que supone competir en rendimiento y rentabilidad con otros métodos de limpieza. Pero también ha tenido gran repercusión en el terreno del debate cultural y de criterios respecto a la forma de abordar las intervenciones restauradoras.

La necesidad de demostrar objetivamente que el tratamiento por láser superaba con creces los resultados de la limpieza por métodos tradicionales de los bienes culturales ha conllevado en el mundo de la Restauración la necesidad de tener consciencia de las características científico-técnicas de los materiales, de procesar los mismos antes y después de la restauración para tener garantía de su conservación y de reconocer que la tecnología (el Láser) ha entrado por derecho propio y con competencia plena en un mundo que parecía anclado en la supuesta o real capacidad artística de su instrumental y sus intervinientes.

Por otra parte, el imprescindible conocimiento técnico y la fundamentación científica en que deben prepararse las personas encargadas de utilizar máquinas láser, así como el desarrollo de las mismas, que se ha demostrado muy importante para hacerlas operativas en los andamios de la arquitectura monumental ha desembocado en una nueva conciencia cultural: la de la Restauración Científica, que significa sencillamente llevar al 100% de probabilidades la garantía de que una restauración está bien hecha y no perjudica al bien cultural de que se trate.

Para ello es preciso comparar con técnicas y análisis científicos el estado del material antes y después de su procesamiento mediante láser, nuevas tecnologías y técnicas tradicionales para saber el grado de inalterabilidad y confrontar las ventajas de unos u otros procedimientos.

Esta sistemática puede afrontarse en todos los materiales con que aparece testimoniada la Cultura y el Arte de la humanidad. Así materiales pétreos y leñosos en arquitectura y escultura, materiales arcillosos, cerámicos y textiles en todas las artes industriales y domésticas o en revestimientos de otros materiales, materiales

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

previamente elaborados como los materiales metálicos y vítreos, materiales ligados a las artes de la transmisión de conocimientos, acuerdos o simple exaltación de los sentidos como los relativos a todo lo pictográfico, documental y a la Pintura misma.

Pero, además, los materiales que constituyen físicamente los bienes de interés cultural están compuestos, superpuestos e integrados unos en otros (piedra con policromía y pátinas), madera con pintura e imprimaciones, fibras orgánicas animales y vegetales con pigmentos naturales y materiales ligantes, vidrieras con pintura y grisalla, metales que revisten a otros que dan la forma general y que a su vez utilizan otros metales distintos como soporte estructural, metales con pinturas y tratamientos al fuego, papel y tintas de toda índole y épocas, etc...) y tienen características formales de textura y volumetría que es preciso respetar escrupulosamente.

En este sentido la valoración por parte de los gobiernos del patrimonio monumental y mueble ha hecho evolucionar con mayor rapidez las técnicas de procesamiento por láser en determinados materiales: la piedra de las fachadas de los monumentos, el mármol de las esculturas urbanas o musealizadas, el papel de los documentos de los archivos, etc. Pero el campo a investigar es inmenso y conviene tener presente que nos encontramos sólo en los albores de una nueva etapa de aplicaciones tecnológicas en la restauración y que el láser ha mostrado solamente una parte ínfima de las posibilidades que puede desarrollar en los materiales que integran los bienes culturales.

De ahí la referencia al estudio (el procesamiento por láser ayuda a chequear la naturaleza, forma de producción y vicisitud histórica del bien cultural), conservación (procesamiento de capas que se convierten en protectoras de las superficies y formas del Bien de Interés Cultural) y restauración (eliminando las patologías a que da lugar la suciedad que se adhiere a las superficies y volviendo a recuperer su forma original).

Por otra parte, no sólo se trata de intervenir en los materiales que tienen un reconocido valor oficial o social como BIC bien sea por su valor artístico, histórico, documental o de imposible reposición, sino también los de carácter patrimonial que se convierten en testimonios directos de Culturas pasadas y que desvelan su contenido gracias al procesado mediante tecnología láser.

La radiación láser aplicada en la limpieza de la Arquitectura monumental (y por lo tanto en las fachadas y elementos exteriores que no son susceptibles de transportarse al laboratorio y han de recibir tratamiento "in situ", obligando al montaje de andamios), comienza su primera y hasta ahora exitosa experiencia oficial en el "portail de la Mère-Dieu" de la catedral de Amiens en el mes de junio de 1992.

El protagonismo de esta obra de vanguardia hay que dárselo indiscutiblemente al Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (Laboratorio de Investigación de Monumentos Históricos, LRMH) y a la empresa B. M. Industries, fabricante de máquinas láser.

El Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (LRMH) –ver fotografías 1 y 2– llevaba estudiando el tema desde el año 1987 a través de una metodología que comparaba la bondad de los diversos sistemas de limpieza (agua, compresas, microchorro y láser) mediante rigurosos análisis de las muestras (secciones pulidas, láminas delgadas, microscopio electrónico de barrido, colorímetro, rugosímetro, etc.). Geneviève Oriol y Veronique Vérges-Belmin, principales investigadoras, inauguraban, sin saberlo, una importante apertura a la Restauración Científica, no porque se pusiera en duda el carácter científico de los ensayos que hasta entonces se hacían en materia de

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

restauración arquitectónica, sino porque las decisiones sobre los sistemas a aplicar podían llegar a ser tomadas con rigor científico¹.

La empresa B. M. Industries fabricaba láseres en diferentes aplicaciones industriales desde finales de los 70, asociándose a la investigación del LRMH desde los primeros momentos. El reto será conseguir una máquina suficientemente ergonómica y utilizable por los restauradores en las duras condiciones de climatología y manipulación que ofrece un andamio. Gilles Riboulet, técnico y especialista de la empresa tiene mérito propio en esta investigación y en la colaboración con el Laboratoire (LRMH).

Fotografía 1.- El Laboratoire (L.R.M.H.) se alberga en dependencias del bellissimo château de Champs-sur-Marne, en Marne-la-Vallée, junto a Paris; concretamente ocupa los edificios del lateral izquierdo de la fotografía, antiguas caballerizas y patio de coches.

Fotografía 2.- Interior del L.R.M.H. Las diversas secciones se disponen a modo de "peine" desde un pasillo distribuidor y con divisiones de mamparas acristaladas. Se observa la estructura de mansarda clásica francesa en el desplome de huecos y cerramientos longitudinales, así como en las nervaduras de la "charpente".

Ellos son, sin duda, los primeros intervinientes que llevaron, en Francia y en el mundo, la radiación láser a cualquier punto de la fachada de un monumento, con la garantía de que era el mejor de los tratamientos de limpieza posibles y hasta la fecha el más inocuo. Ellos son, también, los que siguen, por propios merecimientos y por resultados concretos, en la proa de la investigación más vanguardista de cara a

¹ Siempre que las personas de los laboratorios participen directamente de la obra, sepan tomar las muestras adecuadas, hagan interpretaciones específicas y conozcan el objetivo de su investigación. Tal

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

conseguir mejorar la calidad de la limpieza y el rendimiento de la técnica láser, sea cual sea el aspecto formal de la intervención y la complejidad del monumento a limpiar. De la mano de ambos organismos, institución y empresa vamos a hacer un breve recorrido histórico del desarrollo de esta técnica, centrando el discurso en las investigaciones actuales y los retos del futuro, puesto que según parece, ni la discusión de los métodos de limpieza ni las posibilidades de la tecnología láser han sido explotadas hasta sus últimas consecuencias (fotografías **3** y **4**).

Otras instituciones, otras empresas y otras personas han empeñado también sus desvelos en el conocimiento y profundización de la aplicación de la radiación láser, consiguiendo las correspondientes aportaciones; pero vamos a ceñirnos aquí a los protagonistas mencionados, no sólo porque continúan a la cabeza de la investigación de sus respectivas áreas, sino también por su quehacer específico objetivado en los Monumentos Históricos y porque, en estos momentos, se están proponiendo con seriedad cuestiones tan importantes como la regulación instantánea y a distancia de la energía, la limpieza de superficies lisas de manera rentable y eficaz, la utilización de varias boquillas simultáneas, la materialización de la perenne discusión entre los sistemas de fibra óptica y los sistemas de brazo articulado con espejos, la reducción de los tamaños de las unidades operativas, el aumento radical de la potencia, el mantenimiento de las policromías, la revisión de las primeras limpiezas (hace ahora 17 años), etc...

DESARROLLO HISTÓRICO DE LA MÁQUINA LÁSER DE OBRA

B. M. Industries comienza su andadura fabricando láseres de CO², en cuya fabricación y alineación de óptica se tenían serias

integración es completamente efectiva en el caso del Laboratoire y en su colaboración con los Architectes en Chef des Monuments Historiques.

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

dificultades. Cuando éstas se consiguen solventar, se convierten en verdaderos expertos de las ópticas de brazos rígidos y articulados, cuyo sistema patentan. En tal aspecto, hemos visto otros competidores que, partiendo de la idea-base de que iban a fabricar el brazo articulado en unos pocos meses, han tenido que retirarse o recurrir a confeccionar láseres de bricolage comprando los brazos articulados completos, ya montados y calibrados. Por otra parte, la dificultad mencionada explica el hecho de que otros fabricantes intenten la alternativa de la fibra óptica -no exenta tampoco de complicaciones- para transportar la radiación desde la barra de NdYAG (el láser que más generalizadamente se usa en monumentos y el más versátil) hasta el pistolete que ha de manejar el restaurador.

Si la aplicación de la técnica láser se conoce desde 1972 a través de las investigaciones de los italianos en la limpieza de pequeñas obras de arte, no alcanza su relación con el gran público ni la polémica extensiva hasta 1992, fecha de entrada oficial de esta técnica en el mundo de las catedrales, emblemático y significativo, y en el no menos prestigioso universo de los Monuments Historiques de Francia, que con las decisiones de los Architectes en Chef des Monuments Historiques y la garantía de los estudios y ensayos del Laboratoire (LRMH) inician en la catedral de Amiens una serie de experiencias insustituibles. La culminación de las mismas se materializa en el programa Le Tour de France² para el bienio 1993-1994, a partir del cual se tiene suficiente bagaje y formación en el país galo como para considerar que se trata de una de las técnicas más sofisticadas y perfectas, la de mejor adecuación cuando se trata de escultura no policromada y, por ende, una de las que conviene mejorar el rendimiento.

² Este programa extendido a numerosas catedrales y monumentos franceses ha tenido por objetivo buscar una máquina de radiación láser adecuada y útil en los andamios, pero además ha reunido una documentación preciosa a través de fichas que informan perfectamente toda la actuación. En el número 13 de la Revista MONUMENTAL se da noticia de ello.

Fotografía 3.- Se puede decir que el desarrollo de la aplicación de la técnica láser para limpieza y restauración de obras de arte -de materiales no pétreos- está aún en mantillas respecto a otros campos o si se

compara con lo conseguido en arquitectura monumental. Un ejemplo lo constituyen los metales, cuya naturaleza íntima, variedad de formas, materias y patologías se aprecia en esta vitrina del L.R.M.H.

Fotografía 4.- Junto con los metales y la madera, el vidrio tiene por delante un espléndido campo de aplicaciones a desarrollar. El problema más habitual de las vidrieras reside en la dificultad de limpiar sin eliminar la "grisaille", es decir, la pintura con que se dibujan y perfilan las figuras de cada pequeño vidrio.

Pero el debate se desata -y no sólo en Francia, donde los éxitos espectaculares de los primeros años lo anulan por completo- entre los mismos restauradores, arquitectos y empresas; entre ellos y entre todos a la vez. El desconocimiento provoca un primer desconcierto entre los arquitectos y el temor campea entre los restauradores que creen que las técnicas tradicionales que dominan pueden quedar desfasadas.

Por otra parte, para las empresas podría suponer una cierta reconversión, justo ahora, cuando no se han apagado aún los ecos de los plácemes y felicitaciones que despertaron las muy mejoradas técnicas de microchorros secos con partículas, debido a su alto rendimiento y escasa asociación con el restaurador profesional. Y también, los fabricantes de productos y máquinas a utilizar en restauración arquitectónica se apresuran, por un lado, a buscar láseres alternativos, y por otro desarrollan nuevos sistemas de microchorros (gommages, etc..) y de compresas químicas; e incluso patentan nuevos e ingeniosos sistemas de limpieza (Tollis, etc..)

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

En suma, una serie de intereses se confronta y como ocurre muchas veces, los tiempos, los dineros y las propias estructuras de la administración, de la organización empresarial y de la producción de la restauración monumental conduce a equívocos, confusiones y ruidos polémicos injustificados y aparatosos que no son sino defensa apasionada y activa de anhelos desconocidos e idealizados, de economías concretas y de supuestas injustificadas competencias. Y este debate, irracional y acientífico reina en todos los lares:³ Francia, Italia, España, México, ...

Sin embargo, desde la difusión de la técnica láser en 1992, la obligación ética de avalar los resultados con análisis científicos ha conducido al reconocimiento de que los mismos han llegado a ser imprescindibles, precisamente para confrontar todas aquellas cosas que el ojo del experto no puede apreciar y que son, por desgracia, abundantes. La Restauración Científica ha tomado así carta de naturaleza, y nadie duda del sentido y la trascendencia de la misma. Otra cosa es que este sentimiento y esta práctica sean muy recientes, que no se sepa extraer los testigos sin dañar lo mínimo aceptable, que no se interpreten bien los resultados del laboratorio, que no exista cierto espíritu científico en el alma del arquitecto o del restaurador, que desde el laboratorio se desconozcan los objetivos de la restauración, que se acomoden, incluso, los resultados a la intención de las decisiones y de la imagen final, etc... Son todos efectos propios de la falta de ejecutoria e introyección de los parámetros científicos en el mundo de la restauración.

Y hay que prever que tal confusión va a durar, tanto como la continua provocación entre el rendimiento de las técnicas y la calidad de resultados solicitada. Por eso, más que nunca, es un

³ Es curioso el caso de España, donde sólo trabajan en los andamios dos máquinas de BMI: las de las empresas CLAR y CPA, aunque son más numerosas las que se utilizan y que proceden del montaje de componentes. Apesar de todo, la polémica está servida.

Y también lo es el de México, donde una máquina fabricada por BMI y adquirida por el ININ ha provocado un debate intenso antes incluso de haber entrado en funcionamiento efectivo en una obra.

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

momento de ensayos e investigaciones, de avances y de pruebas; por eso, además, hay que seguir desarrollando la tecnología laser en las aplicaciones de bienes patrimoniales: en el sentido de rendimiento eficaz y competitivo económicamente con otras técnicas y en la dirección de mejorar aún la indiscutible calidad de resultados que se han visto con las limpiezas de numerosas catedrales y edificios.

En la catedral de Amiens y en la catedral de Notre Dame de Paris, en los primeros momentos de ensayos de técnica láser en una obra, B M Industries tenía una máquina⁴ aún muy voluminosa y tosca, compacta y grande, cuya altura llega casi hasta la barbilla de una persona. De esa gran caja sale el brazo articulado y ello obliga a disponer de andamios muy profundos y a conseguir, a pesar de todo, poca maniobrabilidad. En aquellos tiempos se comenzó con circuitos de refrigeración de las máquinas hechos sobre la propia obra, con una columna de agua que subía por el andamio y estaba conectada a la red general con funcionamiento continuo; aunque enseguida se adoptó el actual sistema de circuito cerrado y termostato.

MÁQUINAS DE BRAZO ARTICULADO COMERCIALIZADAS

Al final de la experiencia del programa Le Tour de France, la actual máquina móvil NL-102 estaba casi terminada en su actual configuración. (se mejoran, sobre todo sistemas relativos a la mejor manipulación del pistolete, seguros, gatillos, regulación, mecanismos, etc..). Esta máquina, que resiste perfectamente las temperaturas, manipulaciones, vibraciones y pequeños golpes de la obra es la que, con variantes, más se conoce entre las empresas y la que ha sido comercializada hasta ahora con más éxito. El brazo articulado no se desajusta fácilmente y el polvo fino que puede entrar por las juntas no

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

es significativo, sobre todo si se tiene en cuenta la facilidad de despiece y limpieza. Tiene separados los tres cuerpos correspondientes a la barra de NdYAG, al módulo eléctrico y al circuito de refrigeración, aunque también se pueden ensamblar. El módulo de la barra que suministra la radiación láser es ligero, se mueve perfectamente por una persona sobre una especie de carrito de golf y va unido al pistolete de disparos mediante un brazo articulado. Queda así asegurada la accesibilidad y manejabilidad en cualquier parte de la obra.

Además del modelo NL-102, el más popular, se ha comercializado recientemente el NL-103, más barato y compacto; más adecuado también al laboratorio, pero que puede usarse en los andamios y de hecho se usa, por parte de bastantes restauradores. Es una máquina más sensible a las temperaturas y más pesada, pero, en esencia, absolutamente igual a la NL-102. Ambas tienen las mismas características técnicas: boquilla de 7 mms. de diámetro para el haz de rayos, 7 nanosegundos de duración del pulso, 20 hz de frecuencia (disparos por segundo), una lámpara flash y 400 milijulios de energía, suministrada en estas variables.

Respecto a la energía, hay que decir que las primeras máquinas de ensayos eran también muy grandes porque, para tener holgura en las pruebas de diferentes variantes se utilizaban aparatos capaces de responder hasta con una energía de 1.000 milijulios, lo que suponía mayor volumen, mayor refrigeración, etc..

COMPARACIÓN DE LAS ÚLTIMAS INNOVACIONES CON MODELOS TRADICIONALES

⁴ Puede verse en Notre Dame de Parism en la fotografía del citado artículo de la revista MONUMENTAL.

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

Además de las máquinas citadas, desde finales del año 1997, la investigación en rendimientos superiores sin afectar a la calidad de la intervención (en definitiva, sin modificar sustancialmente la duración del pulso y la frecuencia) ha conseguido desarrollar una máquina dos veces y media más potente que la NL-102: la NL-201, que suministra 1.000 milijulios y es tan manejable como las tradicionales de 400 milijulios. El mayor rendimiento se debe a que ahora se puede trabajar con haces de rayos de mayor diámetro; en este caso, de 14 mms., con 30 Hz de frecuencia, dos cabezales, tres lámparas flash y 7 nanosegundos de duración del disparo.

Este es el equipo que hemos podido ver trabajando en la fachada de Collegiale de Mantes-la-Jolie en febrero de 1998, con resultados impresionantes. Aún así, los equipos han mejorado en el momento presente pues la novedad no sólo consiste en el incremento de potencia sino también en la incorporación de un zoom continuo al pistolete y en la posibilidad de focalizar el haz de rayos a 1 m. de distancia de la boquilla de salida o incluso a 1'50 m. Vamos a analizar estos tres factores por separado:

1. El aumento de energía respecto a la máquina clásica ha sido de 2'5 veces, pero la superficie sobre la que incide el haz de rayos a la salida guarda una proporción equivalente al cuadrado de los radios (3'5 y 7 mms.), es decir de 12'25 mms². a 49 mms².; o sea que aquí se ha producido un incremento de 4 veces. Ello sin perjuicio de que el restaurador al focalizar (NL-201) o mover el pistolete de adelante atrás (NL-102) regule la superficie sobre la que quiere disparar y por tanto la cantidad de energía por unidad de superficie.

Se comprende que si a una mayoración de la energía de dos veces y media le corresponde una superficie de incidencia de 4 veces superior, la energía por unidad de superficie, que es la magnitud que en realidad mide la "cantidad de limpieza" o el daño producido en su caso, resulta ahora menor. Es lógico, si se tiene en cuenta la forma

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

de operar del restaurador para la que está concebida la máquina NL-201, porque siempre se comienza a tantear el trabajo de limpieza con un haz de rayos paralelos que se van focalizando, según las necesidades, con el zoom.

En cualquier caso y para un efecto equivalente entre las dos máquinas, hay que decir que éste se produce cuando se ha focalizado la NL-201 a un diámetro de 10'08 mms., es decir, 30'625 mms²., exactamente dos veces y media más de superficie.

- 2.** La incorporación de un zoom continuo (y de utilización sistemática) al pistolete es vital porque permite al restaurador cambiar en cualquier momento la intensidad de la energía incidente trabajando a una distancia y que le resulte cómoda, sin necesidad de moverse y sin más que aplicar un leve giro con el índice al mecanismo del zoom. Así, la fatiga del restaurador es menor, lo que va en favor del rendimiento; tiene una accesibilidad que no le obliga a adoptar posturas especiales puesto que puede trabajar a distancia; y el posible ensuciamiento del pistolete y juntas del brazo resulta muy mitigado ya que la máquina está suficientemente retirada del polvo y plasma producido por la desincrustación fotónica. Ni que decir tiene que, además de abaratare el mantenimiento del aparato, el restaurador sale beneficiado pues está a salvo de la posible contaminación del mencionado plasma. Por otra parte, si necesita acercarse al punto de limpieza puede hacerlo, lo mismo que puede focalizar, que no es sino un acercamiento artificial.

En resumen, y sobre todo para quien conozca el durísimo trabajo que significa el láser en el andamio, hay que convenir en que la mejora es sustancial y que redunda no sólo en rendimiento; también en calidad puesto que la falta de fatiga del restaurador le permite mayor atención a la limpieza y la consecución de una tarea mejor realizada. Lo que hacía el restaurador con la tradicional NL-102 alejando y

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

acercando la pistola lo hace ahora moviendo simplemente el zoom. Tal es la inteligencia de la innovación.

3. Pero las ventajas no están solo ahí. La nueva máquina consigue distancias de focalización mucho mayores (de 1 m. y de hasta 1'50 m., frente a las lentes convergentes de focal de 30, 40 o 50 cms. con que se dotaba a las antiguas). Si la focal es más profunda el restaurador puede afinar más en la limpieza pues su campo de actuación entre dos niveles de energía tiene más distancia para su regulación y por tanto lo puede hacer mejor. Es lo más parecido a tener un dial de gran longitud para el mismo campo de ondas radiofónicas: se puede discriminar mejor la sintonía que se quiere captar. Es fácil entender que si el haz de rayos tiende a ser más paralelo (focal más larga), las variaciones de energía (o sea de superficie de incidencia) se captan con más facilidad. Luego, con la NL-201 es posible afinar todavía más la calidad de la limpieza. Las ventajas son tan palpables que, a día de hoy, la nueva máquina está sustituyendo a la antigua, que puede no tarde en desaparecer del mercado en su forma de comercialización actual.

Entre las últimas innovaciones que está investigando BMI se encuentra el láser de díodos, con nuevas aplicaciones y modificaciones; pero esto constituye aún un poco el secreto del sumario de un proyecto de futuro.

BREVE SINOPSIS DEL LRMH. Proyectos y programas en marcha.

No es lugar éste para explicar con detenimiento los cometidos que debe desarrollar el Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (Laboratorio de Investigación de Monumentos Históricos, LRMH) ni los medios con que cuenta. Baste decir que es una institución del Ministère de la Culture que está al servicio de los

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

Monumentos Históricos inscritos y clasificados que pertenecen al estado francés. Tiene por misiones la consultoría en las actuaciones previas, el análisis de los materiales y de las reacciones derivadas de los mismos, el estudio de las patologías y de su detección, inhibición y corrección, la realización de los ensayos y pruebas oportunas para determinar la naturaleza y cualidad de los resultados, la investigación continua y sostenida en el área de la restauración arquitectónica, la formación de personas especialistas a través de los diferentes programas y convenios y la asesoría en el seguimiento y mantenimiento los bienes patrimoniales restaurados.

Consta de ocho secciones: madera, pinturas murales, vidrieras, textiles, grutas ornamentadas, piedra, microbiología y metales-hormigones, además de la correspondiente estructuración informática, de los departamentos de tratamiento de imágenes y de la organización de relaciones de todo tipo. Las investigaciones relativas a la técnica láser se desarrollan en la sección de la piedra, no por otra razón más que porque es el material donde primero se ha comenzado a aplicar esta técnica y donde más ha avanzado. Pero obviamente, la utilización del láser puede aplicarse en los demás materiales y desarrollarse en las demás secciones.

En este momento el LRMH está comprometido en una investigación de un conjunto de cuatro boquillas de salida con abastecimiento del haz de rayos por sus cuatro fibras ópticas correspondientes. La distribución de las huellas se hace en forma de un cuadrado con cuatro círculos de 3 mms. de diámetro muy próximos entre sí. El objetivo es ensayar el transporte de las radiaciones mediante fibra óptica, comprobando la posibilidad de trabajar de forma más flexible, con otros materiales alternativos y con un conjunto de piezas de disparo.

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

En el fondo de esta concepción late, como se había visto para la máquina NL-201, la voluntad de conseguir mayor rendimiento y facilidad de manejo. Además de materializar la vieja aspiración de los laseristas de trabajar con "peines" de boquillas, cuestión que siempre se había tenido como un tema de utopía y de futuro a largo plazo, esta investigación reabre la nunca dormida polémica sobre si es más adecuado el brazo articulado o la fibra óptica en el láser de restauración monumental. Aunque luego se volverá sobre este asunto, sí hay que decir que se trata de un falso debate, ya que cada elemento y según sus características es más idóneo para un tipo u otro de aplicación.

Y en relación con los conjuntos de boquillas que se mueven solidariamente hay que ver qué pasa con los espacios vacíos dejados entre ellos o con la no coincidencia de las fronteras de cada uno de los spots cuando el conjunto dispara al unísono, así como la homogeneidad de los haces. Parece, no obstante, que la posibilidad de resolver estas cuestiones con suficiente homogeneidad de distribución es terminante. Pero sí conviene ser muy cauto en el estudio del reparto de intensidades del haz en cada disparo, tanto para conseguir la unificación total como para desarrollar distribuciones específicas que puedan tener interés en aquellos casos especiales que son más abundantes de lo que a primera vista parece

El otro empeño del LRMH es el estudio del efecto del láser sobre las policromías, pues aunque en determinados casos era inocuo, se ha comprobado que puede hacer virar los colores, en especial el rojo, dependiendo de materiales, intensidades, soportes y parámetros de la máquina. Lo que sí está cotejado -y lo hemos podido observar muchos investigadores- es que si la duración del pulso se hace menor, la alteración de las policromías disminuye apreciablemente o se hace nula. Aquí se abre un terreno posible de investigación para los constructores de máquinas, que tendría gran repercusión en la práctica: fabricar aparatos de radiación láser capaces de modificar la

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

duración del pulso, con lo que se obtendría una versatilidad de uso y un abanico de opciones impresionantes. El tema de las policromías es uno de los retos futuros,

constituyendo una problemática compleja y delicada y debiendo hacerse un seguimiento muy puntual de los resultados a lo largo del tiempo.

INVESTIGACIÓN RESPECTO A LAS FUTURAS INTERVENCIONES

El LRMH está asociado a la empresa BMI en una investigación que, de llegar a buen término, va a modificar la mentalidad respecto a futuras intervenciones. Se denomina RESTOR y está en el marco de los programas que se conceden mediante ayudas de la Unión Europea, con la participación de Kostas Fotakis, bien conocido por las investigaciones en limpieza mediante láser para textiles y papel que desarrolla en Atenas.

Se trata de fabricar una máquina capaz de limpiar superficies lisas con calidad y que tenga un rendimiento medio de al menos 10 metros cuadrados cada hora, para un tipo de suciedad standard porcedente de la contaminación y de las reacciones de degradación que suelen ser más habituales en los entornos urbanos, donde se encuentran los monumentos. La valoración de esta propuesta hay que hacerla en dos vertientes muy importantes:

1. El rendimiento, que ya es competitivo en cualquier situación con los métodos más tradicionales y eficaces. Desde la comercialización de la máquina NL-201, este intento se veía venir. Es cuestión de aumentar la potencia, consiguiendo a la vez que el volumen de los cuerpos del aparato no sea excesivo. Luego hay que regular el diámetro de haz que más convenga, pero siempre pensando en una medida próxima a la pulgada.
2. La puesta en valor del interes por conservar las superficies lisas, documento menos artístico que una escultura, pero absoluta e igualmente estimable en su valor histórico. Actualmente, el interés por las superficies lisas está siendo cada vez mayor. No sólo la conservación de la pátina (aunque la mayoría de las veces se da otra nueva para entonar e igualar), sino de la talla, la labra, las

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

marcas de cantería y, en fin, las huellas del tiempo y de la historia (recolocaciones, incendios, guerras, etc...).

En sucesivas restauraciones y limpiezas históricas, este documento capital que llamamos muros de piedra lisos (y que no lo son) ha ido borrándose. Pero este proceso es característico de los últimos 20 o 30 años y tiene ahora una triste vigencia, protagonizada por todos los sistemas de microchorro, que en mayor o menor grado son siempre abrasivos. Nuestra época se hará responsable de esta pérdida documental grave. Y no es justificación decir que en una fachada ha habido ya sustituciones de sillares, porque normalmente quedan siempre muchas piezas originales que en su superficie guardan una información inapreciable, que todavía no sabemos valorar ni aprovechar. Importa, pues, mucho respetar la piedra lisa tanto como la que es objeto de talla escultórica.

La calidad de limpieza que proporciona la técnica láser sí puede respetar los microrrelieves y las pátinas de la piedra lisa, pero no se viene aplicando⁵ precisamente porque las empresas tienen a disposición otras de mejor rendimiento, cuyos resultados no son desdeñables desde el punto de vista estético general en una recreación del conjunto.

En los talleres de BMI se está construyendo el prototipo de la máquina del programa RESTOR, que debe cumplir las solicitudes mencionadas. De momento ya se tiene la capacidad de suministrar 2.000 milijulios, en lo que concierne al obligado aumento de energía. Hagamos unas hipótesis comparativas tanto con el modelo NL-102 como con el NL-201.

⁵ Tengo en conocimiento el caso de la empresa CLAR que ha limpiado con láser la piedra lisa de la iglesia de Lozoyuela, junto a la sierra madrileña. El resultado ha sido espléndido.

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

Respecto al primero, la energía aumenta cinco veces, con lo cual el diámetro equivalente pasa de 7 mms. a 15'6 mms. La superficie barrida en la misma unidad de tiempo ha pasado a ser cinco veces mayor. En una palabra, este láser funciona cinco veces más rápido.

Pero ya hemos visto que no necesitamos toda la energía en el punto de salida del haz, puesto que podemos concentrarlo con un zoom a distancia. Tal argumento puede volver a ser usado ahora y de hecho interesará comparar con el modelo NL-201. Al ser doble la energía suministrada, el diámetro equivalente es de 19'8 mms. Y si hacemos la proporcionalidad, ya que antes aumentamos cuatro veces la superficie frente a dos y media la potencia, que significa una relación de 1 a 1'6, ahora debemos aumentar 1'6 veces el doble de la superficie (círculo de radio 7 mms.) lo que da exactamente un diámetro de 25 mms. Ni más ni menos que lo que hemos visto en los spots de prueba en las dependencias de BMI. De manera que el paso a disparos de huella de una pulgada está hecho y comprobado. Fácil será que con un poco más de potencia lleguemos hasta los tres mms.

Vamos a suponer el caso más desfavorable: que solo tenemos un spot de 2 cms. (19'8, como nos salía sin focalizar y sin hacer cálculos proporcionales; como si tuviéramos el diámetro más alto para una energía máxima. Si queremos limpiar 10 metros cuadrados en 1 hora, hay que limpiar un metro cuadrado en 0'1 horas, o sea en 6 minutos que son 360 segundos. Como necesitamos 50 pasadas de un metro, cada una de ellas durará 7'2 segundos. He calculado que es imposible dar una pasada de un metro en menos de 20 segundos, lo cual supone tres veces menos de pasadas por cada metro, es decir, unas 16. Se barrería así una banda de 6'25 cms., lo cual parece que queda de momento algo lejos, pero que se salva inmediatamente sin más que funcionar con dos boquillas de 3'125 cms. cada una de ellas. Por otra

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

parte, en superficies lisas, no es necesaria ni mucho menos la energía que se precisa en el terreno de la escultura monumental.

En suma, el láser propuesto en el RESTOR es perfectamente viable, simplemente doblando la potencia y usando un conjunto de dos cabezas. Pero si el sistema se automatiza puede usarse una sola boquilla porque la velocidad se podría doblar. Si se le dota todavía de más energía, mejor que mejor.

Hay que tener en cuenta, además, que no hemos cuantificado un hecho muy real: la energía punta que vamos a utilizar en paredes lisas es aproximadamente un tercio de la que se usa en los relieves y escultraciones al aire libre. El éxito de la investigación está garantizado; habrá que resolver problemas de ingeniería de sistemas y de máquinas, pero su viabilidad no ofrece duda. Estas hipótesis confirman las referencias que tenemos respecto al aparato RESTOR: va a ser un sistema automatizado con la posibilidad de ser corregido manualmente por el restaurador sobre la marcha y manipulado como estime oportuno. El barrido se piensa hacer de arriba abajo, como también resulta lógico para no estorbar en la obra y trabajar según estratos que correspondan a los módulos de andamios.

La consecución de este propósito determina un cambio sustancial en la mentalidad que se tiene respecto a la tecnología láser. Pasaría de ser un instrumento adecuado para limpiezas de gran valor patrimonial a ser una herramienta competitiva con cualquier método.

LA FIBRA ÓPTICA

Nos limitaremos aquí a dar unas breves pinceladas sobre su utilización en arquitectura monumental, sin ánimo de resolver cuestión alguna y sin dar recetas, porque cada cosa tiene su aplicación según las condiciones específicas de que se trate.

Para que en una obra de restauración arquitectónica la fibra óptica resuelva el transporte de la radiación láser, debe ser muy delgada (del orden de 1'5 mms. de diámetro) porque si es más gruesa, resulta demasiado rígida, tanto para su fácil convivencia en el andamio como para mover el pistolete con más comodidad y versatilidad de la que proporciona el brazo articulado.

Ello es específico de la obra "in situ" y del andamio; la contrapartida es que con fibras tan débiles no se puede pasar de los 10 MW de potencia (piénsese que la máquina NL-102 era ya 5'714 veces más potente) lo cual obliga a bajar la energía o a subir el tiempo de duración del pulso o a las dos cosas a la vez. Aumentar la duración del pulso no conviene porque la calidad de la limpieza va precisamente en sentido contrario. Y si se baja la energía, necesitamos al menos un conjunto de cuatro fibras trabajando con sus cuatro boquillas solidariamente. Esto es muy engorroso para operar manualmente y aún así no se llega a los 400 milijulios de la máquina NL-102.

Luego la limitación del sistema está en la potencia, que es tanto como decir el diámetro y la rigidez de las fibras. Ahora bien, si se consiguen fibras de suficiente diámetro y suficientemente flexibles para resolver los problemas planteados se abren perspectivas muy distintas: ésa es la investigación.

LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...



LA UTILIZACIÓN DEL LÁSER...

