

## FOTOGRAMETRÍA: RELEVAMIENTO Y DETECCIÓN DE PATOLOGÍAS TÉCNICAS ESPECIALES APLICADAS AL RECONOCIMIENTO INTEGRAL DEL PATRIMONIO MONUMENTAL PARA SU PRESERVACION, CONSERVACIÓN Y PUESTA EN VALOR



El relevamiento ocupa desde siempre un lugar importante dentro de la arquitectura, particularmente en la puesta en valor de los edificios antiguos. Podríamos decir que es un elemento indispensable que compete a una vasta gama de trabajos de profesionales dedicados al tema y que abarca tanto el estudio del organismo arquitectónico y sus componentes, como de sitios y áreas urbanas.

En las tareas de preservación, puesta en valor y reciclaje de edificios de valor patrimonial es necesario el desarrollo de un procedimiento sistemático y uniforme que parte de un criterio de totalidad realizando un relevamiento integral en el que se consideran todos los elementos existentes que conforman el organismo arquitectónico sin exclusiones previas. Constituyendo una base de datos global que tiene en cuenta más allá de los valores singulares la contextualización de cada bien y su interrelación en el tejido histórico y ambiental.

Sobre la base del procesamiento y análisis de la documentación existente y la definición cronológica de las etapas de consolidación y desarrollo del bien en estudio, es necesario profundizar sobre las distintas técnicas que comprometen al relevamiento. Para así distinguir cuales serán las más adecuadas en la identificación de un conjunto completo de datos cualitativos y cuantitativos que incluya el estado y situación actual del edificio y su entorno.

Un primer análisis debe apuntar a establecer:

- Cuales serán las técnicas a aplicar para obtener un conjunto completo de datos que identifiquen elementos

arquitectónicos, decoraciones, anomalías, detectando hasta las más mínimas lesiones y patologías estructurales.

- Cuales serán los sistemas más adecuados para la documentación de la información adquirida como información original o proveniente de otros sistemas, constituyendo una base de datos gráfica y alfanumérica.
- Cuales serán las facilidades que nos permitan establecer un procesamiento rápido y dinámico que incluya búsquedas, asociación de información y evaluación de alternativas de intervención.

En los relevamientos arquitectónicos podemos distinguir tres distintas metodologías operativas:

**a) RELEVAMIENTO DIRECTO.** Este método lo realiza un operador con el auxilio de simples instrumentos de medición como el metro, escuadras, cintas métricas, etc. Se emplea en la mayor parte de los relevamientos arquitectónicos y se revela indispensable en los relevamientos de plantas y secciones de edificios, donde los otros métodos no pueden ser empleados, sino en particulares circunstancias.

**b) RELEVAMIENTO INSTRUMENTAL.** Es aquel método realizado con el auxilio de instrumentos topográficos como por ejemplo: niveles, distanciómetros, teodolitos, etc. Se emplea en relevamientos de precisión, para relevar planialtimétricamente grandes extensiones y puntos inaccesibles. Más que un verdadero método autónomo es considerado como complementario al método directo y fotogramétrico. Resulta indispensable si se desea integrar el edificio con su ámbito territorial.



Toma fotogramétrica fachada principal de la Basílica Nuestra Señora de Luján. Cámara métrica UMK13/18.

**c) RELEVAMIENTO FOTOGRAFICO.** Por último, este método es aquel efectuado con el auxilio de máquinas de toma como fotocámaras y bicámaras métricas, con instrumentos de restitución analógicos, analíticos y digitales que permiten trazar directamente gráficos del objeto relevado.

Digamos entonces, que la fotogrametría es la técnica que permite efectuar el plano o levantamiento de un objeto con la ayuda de perspectivas de este objeto registradas fotográficamente, observando, explorando, estudiando y midiendo el modelo tridimensional virtual del objeto fotografiado. Solamente la fotografía permite registrar una perspectiva muy completa y precisa. Pero para su utilización es necesario conocer las características de esta perspectiva, para lo cual las fotografías deben ser tomadas con una cámara fotográfica especial, denominada **CÁMARA MÉTRICA**. En un proceso posterior, esas perspectivas fotográficas se



Casa de Gobierno de la Ciudad de La Plata. Toma fotográfica con cámara normal y métrica.



Casa de Gobierno de la Ciudad de La Plata. Restitución fotogramétrica a escala 1:50.

Para todo objeto que presente un cierto relieve, la restitución exige el empleo de por lo menos dos perspectivas tomadas desde dos puntos de observación diferentes. La restitución se hace esencialmente por **ESTEREOFOTOGRAMETRIA** con instrumentos de restitución analógicos, analíticos o digitales que permiten visualizar con un par de perspectivas el modelo tridimensional virtual del objeto fotografiado.

Este procedimiento fotogramétrico permite efectuar lecturas métricas, para lo cual se usa el principio del mecanismo de visión binocular, que el hombre utiliza continuamente para poder ver tridimensionalmente en el espacio en el que se mueve. Las dos imágenes planas llevadas por los dos cristalinicos sobre las retinas de los ojos de cada individuo, se funden en una única imagen, ya no plana sino tridimensional.

Actualmente en la reducción de datos (restitución digital) se utilizan programas comerciales orientados a la fotogrametría terrestre que utilizan tomas fotográficas convergentes, dando soluciones geométricas mediante la aplicación de haces de rayos perspectivos.

En nuestro país hace algunos años se utilizaban instrumentos de restitución analíticos y tan sólo cinco años atrás con el advenimiento de la informática se comenzaron a utilizar programas con correlación monoscópica (Relevamiento Fotogramétrico de la Basílica Nuestra Sra. De Luján), pero ya hoy han sido superados por programas que nos permiten una correlación estereoscópica para la utilización de la fotogrametría de rango cercano.

Existen distintos tipos de levantamientos urbano - arquitectónicos y arqueológicos a tener en cuenta, en lo que respecta a la utilización de la técnica fotogramétrica; según se considere la precisión y detalle:

### **1. LEVANTAMIENTOS SIMPLES Y RÁPIDOS.**

Con el propósito de la ejecución de un pre-inventario o inventario, o de la realización de anteproyectos de restauración, de estudios preliminares de puesta en valor o acondicionamiento de los principales elementos del objeto en estudio; se relevan:

- Por ampliación, o sea puesta en escala, para un plano de distancia conocida, de una fotografía tomada a eje perpendicular a ese plano o rectificadas.
- Por estereorestitución rápida con elevaciones y cortes.

### **2. LEVANTAMIENTOS PRECISOS DE MONUMENTOS.**

Con el propósito de la ejecución de un proyecto de restauración, o de la realización de un análisis de componentes, o del seguimiento de estado y situación a través del tiempo; se relevan por estereorestitución en forma parcial o total, distintos elementos, como ser:

#### **Levantamientos de fachadas exteriores e interiores.**

El método fotogramétrico nos brinda una notable precisión y una gran cantidad de información. Resulta particularmente útil para relevar problemas estáticos y el degrado de la estructura muraria.

#### **Levantamientos de pavimentos decorados.**

La fotogrametría permite fijar no sólo las decoraciones del pavimento sino además las falencias y desajustes como por ejemplo los asentamientos diferenciales producidos a través del tiempo.

#### **Levantamientos de bóvedas y cúpulas.**

La fotogrametría ofrece la posibilidad de expresar la forma de las superficies no planas por medio de curvas análogas a las curvas de nivel de una carta geográfica.

#### **Levantamientos de bajos - relieves y de estatuas.**

Como para las bóvedas y cúpulas, la técnica permite una representación en curvas de nivel, que tiene un valor geométrico riguroso, sirviendo al establecimiento de futuras copias o réplicas perfectas.

#### **Levantamientos de superficies pictóricas.**

Esta técnica permite tener el relevamiento pictórico que generalmente se complica por encontrarse en superficies curvas.

#### **Levantamientos urbanos.**

Con la aerofotogrametría se puede definir la silueta y la cobertura planoaltimétrica de un edificio como de un área urbana.

#### **Levantamientos de conjuntos arquitectónicos y de sitios históricos.**

El levantamiento de un centro histórico comprende igualmente el desarrollo de fachadas de plazas y calles, obtenidos por estereorestitución o por dibujo sobre las fotografías rectificadas.

#### **Levantamientos arqueológicos.**

La fotogrametría permite fijar el estado instantáneo de un trabajo de excavación, sin destrucción, ni perturbación alguna y seguir el desarrollo de todos los estudios de estratificación.

#### **Levantamientos fotogramétricos inversos.**

La fotogrametría permite estudiar la integración de las construcciones nuevas en un conjunto arquitectónico o dentro del paisaje urbano, por un trazado exacto, sobre las fotografías se pueden observar las perspectivas de los edificios nuevos.

En la práctica, los tres sistemas se integran entre sí, ya que muchos relevamientos efectuados con el método directo tienen medidas relevadas con instrumentos topográficos. Análogamente, el relevamiento fotogramétrico se complementa, muchas veces con el relevamiento instrumental, como método de control.

Podríamos considerar, a pesar de no ser tan precisos, otros dos tipos de relevamiento:

**d) RELEVAMIENTO FOTOGRAFICO PARA ELEVACIONES.** Su utilización es aconsejable para pequeños proyectos en los cuales las fachadas de los edificios presentan escasa diferencia de profundidad. Este tipo de

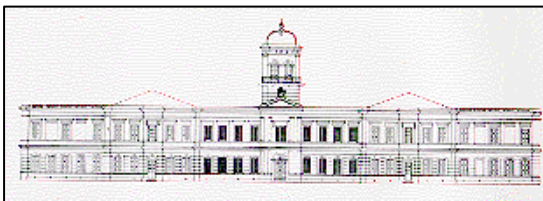


levantamiento no tiene la precisión de un levantamiento fotogramétrico, pero sí podemos obtener buenos resultados.



**Perfil urbano en Isla Maciel, Avellaneda. Mosaico fotográfico y restitución gráfica.**

Las fotografías pueden ser tomadas con cámaras fotográficas convencionales, con película en rollo de 35 mm. o 120 mm. o película cortada en cámaras profesionales. Se puede llegar a utilizar una ampliadora fotográfica convencional para confeccionar copias ampliadas por proyección a la misma escala, las cuales se ajustarán entre sí haciendo coincidir detalles comunes, lográndose así un fotomontaje o mosaico fotográfico, a partir del cual se pueden representar las líneas principales y detalles de la fachada como así medir las elevaciones.

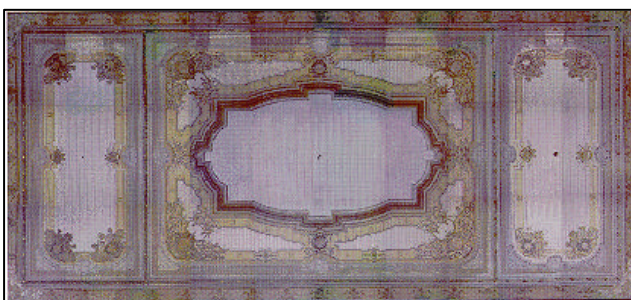


**Fachada principal del Instituto Santa Catalina, U.N.L.P. Mosaico fotográfico y restitución gráfica.**

Esta alternativa de relevamiento puede ser considerada lo suficientemente económica y rápida, además de que utilizándose un buen equipo puede lograrse resultados muy satisfactorios.

Este tipo de levantamiento no tiene por supuesto la precisión de un relevamiento fotogramétrico pero sí podemos obtener resultados óptimos.

No debemos olvidarnos del mosaico digital, que con la ayuda de distintos programas informáticos y un relevamiento topográfico adicional se puede ejecutar la integración de las fotografías que previamente deben ser escaneadas.



**Cielorraso y elevación interior del Salón Blanco de la Casa de Gobierno, Ciudad de San Luis. Mosaico fotográfico digital.**

**e) RELEVAMIENTO FOTOGRAMETRICO ELEMENTAL.** Este relevamiento de la restitución de un sólo fotograma, tiene un empleo limitado debido a su poca precisión. Para poder realizar la restitución de un fotograma se deben efectuar toda una serie de operaciones gráficas como si fuera el dibujo de una perspectiva sobre un fotograma de dimensiones reducidas donde el mínimo movimiento de una línea puede determinar errores relevantes.

Este método puede ser usado si no se dispone de instrumental complejo y costoso para relevar puntos inaccesibles. Un caso frecuente es cuando debemos relevar un edificio con el método directo y se desea también saber sus dimensiones parciales y totales en altura. Los resultados que se consiguen desde el punto de vista de la precisión son compatibles con aquellos de un relevamiento directo, siempre que se realice un trabajo de gabinete correcto y cuidadoso.

Resulta evidente, que la elección del método depende de dos parámetros:

- 1) De las características dimensionales y cualitativas a relevar.
- 2) Del objetivo por el que se debe efectuar el relevamiento.

Si nos referimos al primer parámetro, podemos decir que el método directo puede ser utilizado en todo tipo de relevamiento, aunque el edificio asuma dimensiones notables y presente formas arquitectónicas complejas. Puede resultar muy útil la integración de este método al fotogramétrico. En edificios de dimensiones notables y con plantas muy articuladas podría resultar también útil el empleo del método instrumental, pudiendo trazar diversas poligonales y relevar con absoluta precisión las medidas planimétricas generales, en el interior se podrán incorporar medidas parciales relevadas directamente.

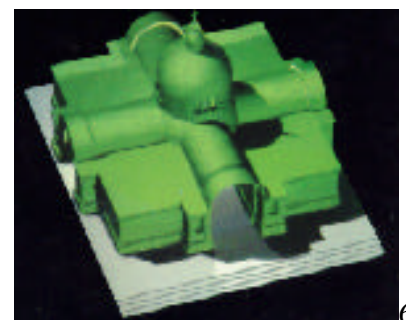
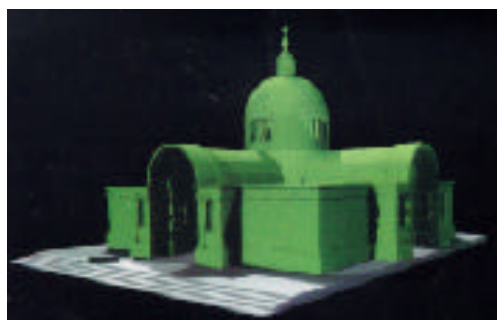
Respecto al segundo parámetro, que establece la finalidad del relevamiento, se puede decir que el método directo resuelve los problemas de relevamiento orientados a un análisis histórico o a la documentación para una intervención de restauración.

Existen algunos casos en que el relevamiento fotogramétrico resulta insustituible como por ejemplo una fachada compleja en que no solamente se releva su forma geométrica con aproximación milimétrica, sino también una serie de otras informaciones como ubicación y forma de las lesiones, caídas de revoques, elementos faltantes de cornisas, etc.

Debemos además considerar el equipamiento que actualmente y en práctica dialoga con el instrumento de restitución analítico a través de sistemas informáticos, podemos dividirlos en tres categorías:

**1) SISTEMAS DE REGISTRO DE IMAGENES.** Esencialmente el escáner y la telecámara. Con el primero, es posible introducir directamente en la computadora imágenes en forma digital, con la segunda, se obtiene el mismo resultado, después de una oportuna conversión de la señal. Con el resultado de la adquisición fotogramétrica, seguida por un estereodigitalizador de naturaleza numérica, la sobreposición de los dos relevamientos es inmediata.

El aspecto más interesante, para el usuario no especialista, consiste en la suma de información: además de la precisión dimensional, se agrega la riqueza de datos morfológicos de la imagen fotográfica y que solo se limita por la definición de la pantalla, (generalmente el monitor es de alta resolución). Es así, como a la geometría se le adiciona el color, el claroscuro y el detalle minúsculo.



Reconstrucción del elemento arquitectónico que Raffaello se imaginó cuando pintó la Scuola d'Atena a través de herramientas informáticas.

**2) SISTEMAS DE REGISTRO NUMERICO.** Las estaciones topográficas que se producen actualmente generan un resultado de forma numérica que puede sumarse inmediatamente a la información del instrumento de restitución analítico y del instrumento de adquisición de imágenes.

La aplicación de interés fotogramétrico es evidentemente la gestión del archivo de puntos de apoyo aunque el interés del usuario arquitecto es todavía más amplio. A través de la inclusión de estos datos, es posible crear una estructura de puntos tridimensional, una verdadera y propia grilla, a la cuál poder insertar como elementos de un mosaico, el archivo recogido por vías de la fotogrametría.

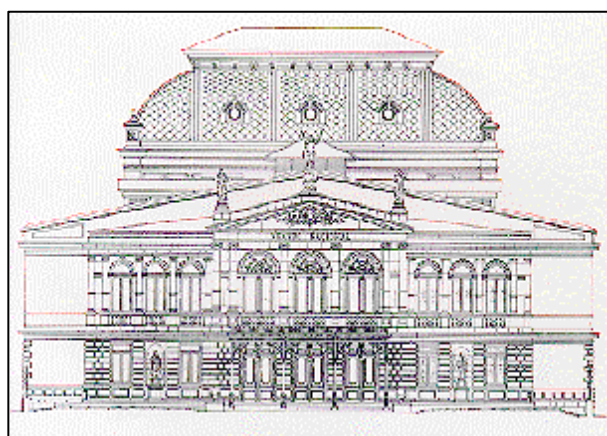
**3) SISTEMAS DE REGISTRO TERMICO.** Los instrumentos de la termovisión no tienen la precisión geométrica ni la fidelidad de imagen de los instrumentos mencionados anteriormente, pero permiten penetrar más allá de la superficie muraria.

Se trata de un dispositivo en grado de medir la emisión de calor de los materiales que se encuentran en una etapa de cambio térmico con el ambiente externo. De este modo, un muro que tenga taponada una antigua abertura, hoy no reconocible porque está cubierta por el revoque que cubre toda la fachada, se comienza a ver por el diverso comportamiento térmico de los materiales, aquellos más antiguos de la estructura original y aquellos más recientes.

Los instrumentos de la termovisión asocian a cada distinta emisión un tono diverso de gris o de color, presentando sobre la pantalla un esquema de las zonas. Este esquema en forma digital, puede ser transmitido a la computadora y sumado a la información fotogramétrica, fotográfica y topográfica ya recogida.

El procesamiento de la información original involucra una serie de técnicas auxiliares a las técnicas de relevamiento, que en la actualidad se desarrollan con equipos ligados al procesamiento de imágenes, la computación gráfica y los sistemas de documentación. Es posible establecer los aspectos más evidentes acerca de la relación entre máquinas de diversa conformación, aunque en varios modos todas dedicadas al relevamiento. La gama de posibilidades ofrecidas y la integración de técnicas diversas es muy amplia.

Para llevar adelante un trabajo de estas características debemos continuar siempre sobre un perfil científico y debe ser realizado por técnicos y profesionales expertos y dedicados al tema.



Teatro Nacional de San José de Costa Rica. Restitución fotogramétrica.

A manera de conclusión, y como acabamos de verlo, el tratamiento digital de la información en arquitectura, arqueología y en el marco de la restauración de arte permite planteamientos variados y soluciones puestas a prueba cualitativamente que influyen en los planos éticos tanto como en los financieros.

La puesta en marcha y uso de sistemas de ayuda a la decisión tendrá que formar cada vez más parte de la práctica de la restauración. dentro de una perspectiva de desarrollo duradero. La constante evolución de los medios tecnológicos puestos a nuestra disposición facilitará cada vez más el surgimiento de experiencias análogas a las que hemos realizado hasta ahora, muchas veces con medios pesados y avanzando a tientas frecuentemente.

Las bases de conocimiento con referencias espaciales tendrán que desarrollarse tanto para los que manejan o administran el territorio como para los que se encargan del patrimonio; ellos esta vez, se encontrarán y colaborarán toda vez que sus respectivas capas se intercepten.

La experiencia adquirida a lo largo de varios años en el tema nos condujo a desarrollar un sistema completo de integración de datos producidos por grupos interdisciplinarios de trabajo en obras de restauración, conservación y puesta en valor.

Debemos considerar la necesidad de obtener una imagen conforme a la realidad en el terreno, el empleo de técnicas avanzadas de captura del espacio, la restitución del monumento y la producción de imágenes de síntesis para ilustrar los resultados de los estudios o de las variantes de restauración.

Para disponer de soportes coherentes distribuidos entre todas las disciplinas llamadas a contribuir al estudio de un monumento, es menester proporcionar una representación objetiva del espacio que contiene al objeto. Por eso es indispensable contar con el recurso de diferentes técnicas de medición. La fotogrametría de acercamiento (close-range photogrammetry) cubre gran parte de las necesidades y debe acoplarse con métodos de telemetría láser para poder integrar con la misma confiabilidad zonas sin perspectiva u obstruidas.

Por otra parte, el uso de la ortofotografía nos permite documentar rápidamente las zonas con una alta densidad de información u ornamento. Nos permite completar la información y mantenerla al día conforme va avanzando la obra proporcionando a la vez, un soporte informativo todavía no interpretado La ortofotografía ha resultado ser de gran utilidad para el estudio y documentación de trabajos de restauración de pinturas, mosaicos, y para los levantamientos arqueológicos de sepulturas y de aparejos de mampostería.

Los datos producidos por estos métodos se entremezclan e integran después en una sola herramienta de restitución tridimensional como el "Microstation ®" de Bentley. Este programa de una modularidad ejemplar, trabaja en todos los ambientes informáticos (Unix, Windows, Mac Os) con el mismo interface. La mayor parte de los programas de fotogrametría analítica o digital son concebidos en torno a y dentro de Microstation. Los datos están estructurados en capas y ligados a una base de datos descriptivos desarrollada bajo Oracle ® power objects; ésta contiene datos históricos en forma de textos, representaciones iconográficas integrando también los hechos establecidos y diarios arqueológicos.

En el caso del Monumento Histórico Nacional de la Basílica Nuestra Señora de Luján, el objeto del relevamiento fue la detección de los desajustes del edificio. Para ello se realizó como base del registro la Restitución Fotogramétrica del Templo y sobre esta restitución se graficaron las anomalías detectadas.

Las necesidades de los restauradores definieron la escala de representación, resultando la de 1:50 para la representación general y 1:10 para algunos de los detalles los cuales fue complementado por graficaciones completas de las fachadas relevadas a escala 1:200.

El proyecto contempla el relevamiento de los muros exteriores e interiores de la Basílica. En este marco se relevó como intervención prioritaria la fachada principal del edificio y los laterales exteriores e interiores de las torres.

La tarea realizada contempló cuatro etapas de trabajo:

## **1. MATERIALIZACIÓN DE UNA RED TOPOGRÁFICA COMO MARCO DE REFERENCIA GEOMÉTRICO DEL LEVANTAMIENTO.**

A los efectos de tener las fachadas, el interior y todos los detalles a relevar en un mismo sistema se materializó una Red Topográfica de Apoyo que contó con un total de 19 puntos, 12 de los cuales fueron exteriores, 1 en la escalinata del edificio y 6 en su interior todos ellos con coordenadas planialtimétricas relacionados al Sistema



Nacional Argentino mediante determinación GPS y nivelación geométrica..

## 2. CONSTITUCIÓN DEL ARCHIVO FOTOGRAMÉTRICO.

Esta etapa se compone a su vez de tres tareas bien diferenciadas como son

### 2a. Toma fotográfica

La misma se planificó con 15 líneas verticales y 5 niveles, posiciones que fueron respetadas y desde las cuales se realizaron 570 tomas.

Se utilizó para todas las tomas una cámara Pentax 6/7 Elcovision, valiéndonos de dos medios de elevación diferentes, uno que permitía llegar hasta los 12m y otro hasta los 75m con los cuales pudimos llegar a los diferentes niveles planificados.

Analizadas las tomas se eligieron y utilizaron para el trabajo siguiente 375 fotos.

### 2b. Apoyo fotogramétrico

Como se había planificado la posición de cada toma, se eligieron y midieron detalles arquitectónicos puntuales que se transformaron en Puntos de Apoyo.

Las importantes dimensiones del edificio hacía de imposible accesibilidad de casi todos los puntos de apoyo, lo que obligó a efectuar la medición con una Estación Total Láser marca Leica TCR307 la que permite efectuar determinar las coordenadas espaciales de los puntos sobre la fachada sin la necesidad de tener que colocar prismas reflectores.

Con la utilización de ese instrumental y a partir de la Red Topográfica previamente realizada se determinaron la posición de 675 puntos.

### 2c.-Escaneo de las tomas elegidas y conformación del Archivo fotogramétrico.

Cada una de las tomas elegidas fue escaneada con una resolución de 1500 dpi en un escaner Polaroid Sprint Scan 45.

Luego con las fotos escaneadas, las coordenadas de los puntos de apoyo y otras tomas generales se elaboró el Archivo Fotogramétrico que se conformó mediante una base de datos, que en forma ordenada y ágil le permitiera, al comitente llegar con sum facilidad y rapidez al dato que fuera necesario observar.

## 3. RESTITUCIÓN ESPACIAL.

Los datos fueron restituidos dentro de Microstation mediante la utilización del programa PHOTODELER 4.1 de EOS System.

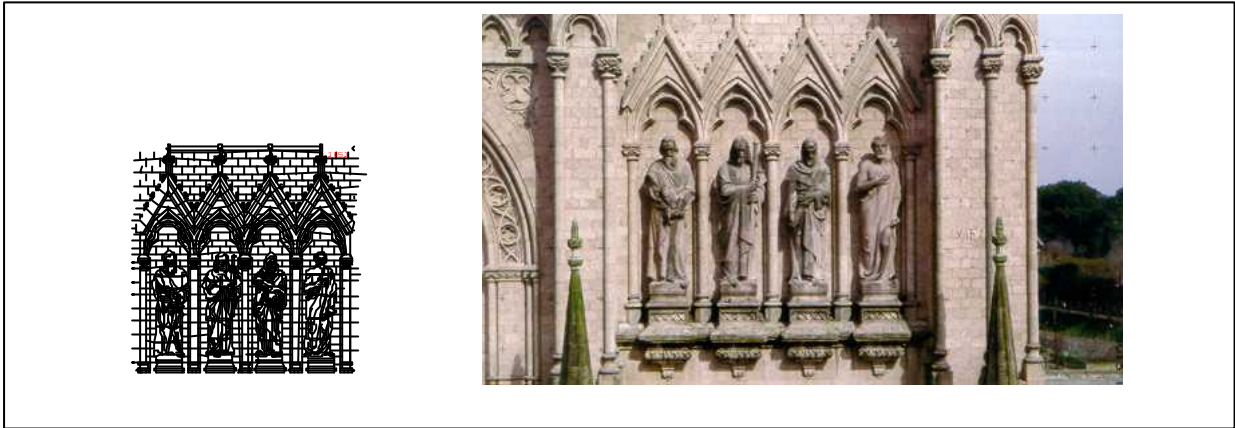
## 4. DETECCIÓN Y GRAFICACIÓN DE DESAJUSTES PARA LA CONFORMACIÓN DEL DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN Y ESTADO

Una vez concluida la tarea de restitución, utilizando las mismas fotografías se efectuó la detección de los desajustes previamente establecidos por los profesionales principales, los que fueron graficados y ploteados en poliester generando originales transparentes para superponer sobre la restitución de la fachada correspondiente.

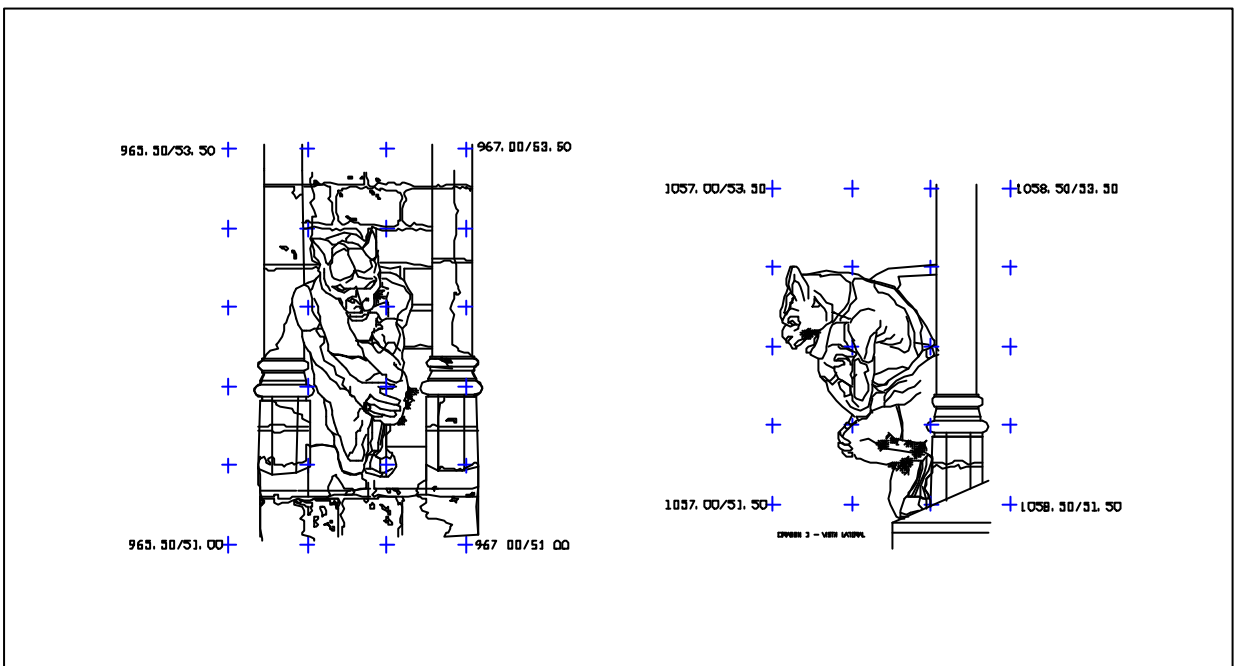
Los desajustes que se contemplaron fueron:

- Desgaste erosional, cuarteamiento y granulación
- Rotura y desfiguración del modelado de la superficie y elementos ornamentales faltantes.
- Grietas y rajaduras.
- Ataque producto de la contaminación atmosférica: sulfatación-cloruración (manchas de color negro).
- Corrosión. (Manchas de color rojizo).
- Ataque de organismos vegetales destructivos: líquenes, algas, mohos. (Manchas de color verdoso) y crecimiento de vegetación.
- Acción destructiva de animales. (nidos y guano).
- Grafitis e incisiones por el accionar del Hombre.





Toma fotográfica y restitución fotogramétrica grupo escultórico (Basílica Nuestra Señora de Luján).



Restitución fotogramétrica. Grupo escultórico (Basílica Nuestra Señora de Luján).

Arq. Elina Tassara  
 Septiembre de 2004.