

RECONSTRUCCIÓN DE PATRIMONIO NATURAL DE LA CIUDAD DE TANDIL: RÉPLICA DE LA PIEDRA MOVEDIZA

Peralta, M. H.

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Avda. del Valle 5737- Olavaria, Bs.As. Teléfono/Fax: 02284-451055 - E-mail mperalta@fio.unicen.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se describen las actividades que posibilitaron reconstruir patrimonio natural de la ciudad de Tandil, a través del desarrollo del Proyecto de la Réplica de la Piedra Movediza de dicha ciudad. Este proyecto permitió que el Cerro La Movediza luzca en su coronamiento una réplica de la Piedra Movediza caída en febrero de 1912. La Piedra Movediza fue por mucho tiempo un atractivo turístico mundial y que por siempre ha representado para Tandil un icono con influjo mitológico inconfundible que la identifica. La réplica es solo una alegoría de aquella piedra mágica, única e irreplicable que alumbró el cerro desde tiempos inmemorables⁽¹⁾. En muchas oportunidades en los noventa y cinco años que transcurrieron desde la caída de la Piedra se han elaborado proyectos para su recuperación que naufragaron entre ordenanzas, refutaciones, burocracia, indiferencia. En el año 2006, la Municipalidad de Tandil convocó a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires para un nuevo intento que, luego del desarrollo de los trabajos de ingeniería correspondientes, que se expondrán en el presente, posibilitó el emplazamiento de la Réplica que se inauguró el 17 de mayo próximo pasado.

RESEÑA HISTÓRICA⁽¹⁾

Toda la mitología de la Piedra Movediza está fundada en el enigma que encerró la posición y ubicación sobre el cerro que la misma tenía. No se sabe con certeza como se formó ni cómo llegó a esa posición ni desde cuando oscilaba (aunque imperceptiblemente a la vista). La base de la Movediza tenía siempre debajo de ella una capa de fragmentos de vidrios dado que los guías para probar que existía el movimiento colocaban botellas entre la piedra y el cerro que se rompían. Algunos la definen como un milagro geológico que resistió durante millones de años los embates de la naturaleza, hasta que cayó quedando partida (aún hoy) en tres grandes trozos en la ladera del cerro. Un reconocido científico, en 1881 predijo su caída, por la erosión que el paso del tiempo le provocaría, luego de comprobar que se trataba de un enorme peñasco apoyado en equilibrio y que su centro de gravedad se encontraba arriba del punto de apoyo y que el hecho de oscilar algunos grados sin derrumbarse demostraba que no estaba en equilibrio inestable. Notables personalidades científicas que la visitaron, coincidieron en postular a la Piedra como una maravilla de la naturaleza.

Los titulares de los diarios de Tandil y nacionales de la época ocuparon grandes titulares para informar, lo que para ellos era una catástrofe, la caída de la Piedra Movediza el 12 de febrero de 1912 a las 5 de la tarde. El diario La Nación publicó la noticia como “El pueblo de Tandil está de duelo.....”.

Mucho se dice acerca de si la caída fue por obra de la naturaleza o del hombre. Inmediatamente se realizaron reuniones de vecinos a efectos de analizar cómo recuperar la Piedra Movediza.

En 1938 se presentó el primer proyecto de reposición que proponía unir las partes de la piedra con cemento Pórtland y arena cubriendo las juntas con lonas mojadas para que formara luego de unos días un bloque compacto. Luego se proponía para levantarla mediante un sistema de poleas y contrapesos de piedras.

En 1955 un vecino constituye una comisión para a efectos de apoyar el proyecto más factible para reponer la Piedra Movediza.

En 1966 el intendente de la época José Lunghi declaró a ése Año de Recuperación de la Piedra Movediza, el golpe militar abortó el proyecto. Y así se sucedieron diversos proyectos que no prosperaron.

El escritor Osvaldo Soriano escribió “La Movediza está embrujada, se lo digo yo. Cada vez que se disponen a levantarla y el gobierno da su autorización ¡zas! Lo echan....”

La gestión del actual intendente Dr. Miguel Lunghi, con el apoyo financiero del gobierno nacional hicieron posible la concreción del proyecto y construcción de la Réplica de la Piedra Movediza que hoy corona el cerro. Esta obra, según palabras del propio Intendente de Tandil, es una obra muy particular y esa particularidad se la da el hecho que es una obra para el corazón de la gente.

EL PROYECTO DE INGENIERÍA

Para la ejecución del proyecto de construcción y colocación en el cerro La Movediza de la ciudad de Tandil de una réplica de la Piedra Movediza, se firmó un convenio entre la Municipalidad de la ciudad de Tandil y la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Bs. As., Facultad de Ingeniería. El Equipo de Trabajo del Área Estructuras, coordinado por la Ing. María Haydée Peralta e integrado por los docentes Ing. Norma Ercoli, Ing. María Inés Montanaro, Ing. Irene Rivas, Ing. María Laura Godoy, se complementó con docentes del Área de Hidráulica y Vías de Comunicación Agr. Carlos Melitón, Ing. Daniel Moris, el graduado Ing. Raúl Bacchiarello y el alumno Andrés Negrete, de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Como participantes externos actuaron la Ing. Ana Scarabino de la Universidad Nacional de La Plata Departamento de Aeronáutica y el Geólogo Lic. Carlos Di Salvo.

PAUTAS DE DISEÑO

- La réplica de la piedra tendría las mismas dimensiones geométricas, se emplazaría fija en la misma posición y ubicación del cerro La Movediza que la piedra original.
- Estaría constituida por una estructura interna metálica y sería recubierta por un material capaz de reproducir la textura y color de la piedra original

ETAPAS DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolló de acuerdo a las siguientes etapas:

- Relevamiento de información disponible sobre el tema referido a estudios geológicos, geometría de la piedra original, otros proyectos previamente presentados.
- Estudios Topográficos que incluyeron:
 - a) Relevamiento planialtimétrico del entorno del lugar de emplazamiento
 - b) Relevamiento geométrico de la piedra a efectos de reconstituir la geometría original y elaboración del modelo geométrico espacial digitalizado.
- Estudio geotécnico de la zona de emplazamiento de la piedra a efectos de evaluar la calidad de la roca de fundación y detectar las posibles fisuras que presente.
- Ensayo de la piedra en modelo a escala reducida en túnel de viento a efectos de evaluar las presiones originadas por el viento y la localización de las mismas considerando las particularidades debido a la topografía del lugar de emplazamiento y la geometría de la piedra.
- Análisis del recubrimiento de la piedra respetando la textura y color de la piedra original. A tal fin se considerarán fundamentalmente las características resistentes de rigidez y durabilidad de las mismas.
- Análisis estructural de la réplica que incluyó la estructura resistente de la misma y la fundación. Estos análisis se realizarán sobre modelos numéricos computacionales espaciales y planos.
- Elaboración de Planos de la estructura resistente
- Descripción del Proceso constructivo

LUGAR DE EMPLAZAMIENTO

Los relevamientos topográficos planialtimétricos permitieron determinar la posición y ubicación de la Réplica coincidentes con los de la piedra original que se indica en Figura 1.

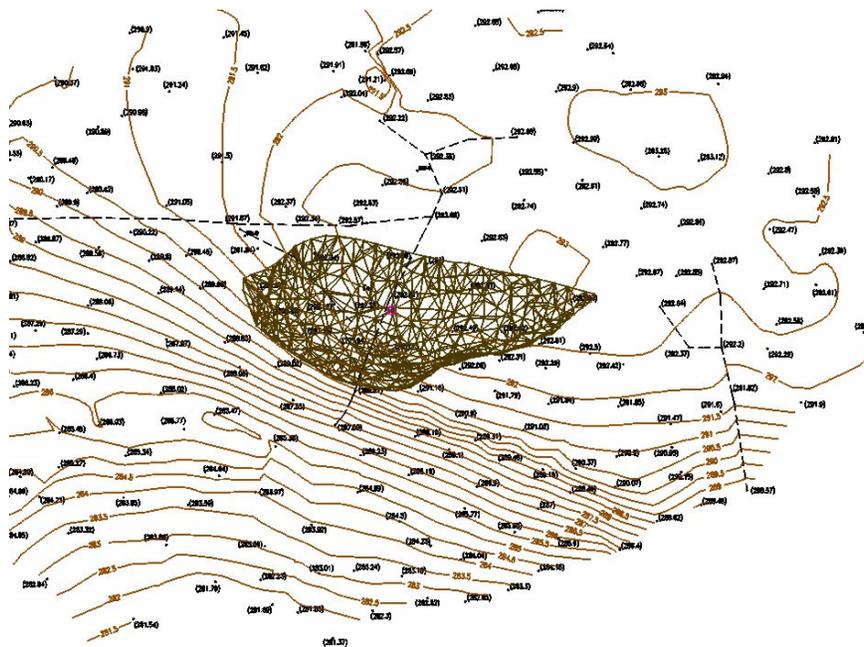


Figura 1. Emplazamiento de la Réplica en el coronamiento del cerro

GEOMETRÍA DE LA RÉPLICA

La geometría de la réplica se determinó a partir del análisis de la información disponible y del relevamiento de la geometría de la piedra caída que yace en el Cerro La Movediza. A tal fin se utilizaron: Taquímetros Electrónicos a rayo infrarrojo y láser y Sistema de receptores GPS. Se relevaron planialtimétricamente 1523 puntos entre los tres trozos existentes de la piedra. El estudio permitió indicar que la piedra tenía un Volumen aproximado de 91 m^3 ; un peso aproximado de 248 ton y una superficie externa aproximada: 133 m^2 . También se determinó el centro de gravedad que permitió observar que se encuentra en la vertical que pasa por el centro del apoyo indicado a 1.81 m. El hecho que la vertical que pase por el Centro de Gravedad caiga en la zona de apoyo determinada permite justificar el equilibrio en que se encontraba la piedra original además de ser indicativo de que las mediciones reconstruyen fehacientemente la realidad en cuanto ubicación y geometría de la piedra original. La geometría resultante se indica en Figura 2.

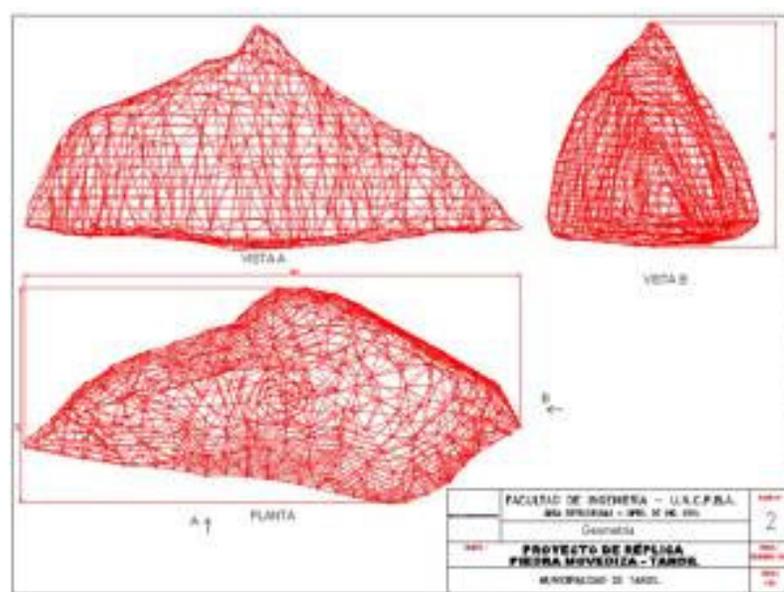


Figura 2. Geometría de la Piedra

ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS

Este estudio, que incluyó recomendaciones para la ejecución de los trabajos de anclajes, comprendió un estudio de las discontinuidades existentes en el cerro en el lugar de emplazamiento que se indican en Figura 3. Se determinaron características de la roca base que permitieron determinar la profundidad de los anclajes y el dimensionado de los mismos.

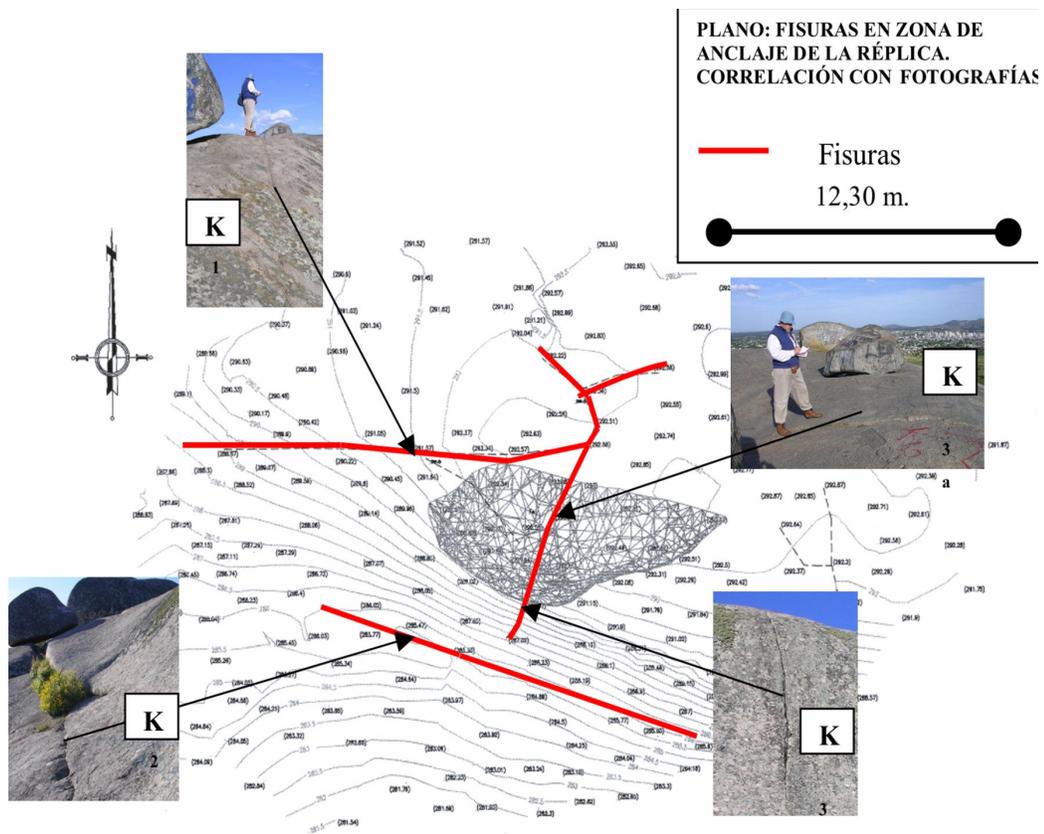


Figura 3. Relevamiento de discontinuidades

ESTUDIO EN TÚNEL DE VIENTO

Este estudio permitió valorar la incidencia de la topografía del terreno y de la geometría de la estructura en la distribución de las presiones del viento. Se adquirieron datos sobre la maqueta construida al efecto, en 56 puntos, para velocidades de viento que variaron de 6 a 16 m/s. Los resultados obtenidos se escalaron para obtener los correspondientes a 50 m/s, equivalentes a 180 Km/h que es la velocidad de viento considerada en el presente proyecto. Se consideraron 8 direcciones de viento: N, S, E, O, NE, NO, SO y SE. Se midieron, asimismo, las fuerzas estáticas y dinámicas en el anclaje en la dirección de viento y laterales según consta en el informe adjunto. Estos datos permitieron la contrastación de los resultados numéricos y la correspondiente calibración de los modelos de análisis utilizados. Se informó el rango de frecuencias normalizadas en que se concentra la mayor energía de cargas aerodinámicas no estacionarias. En Figura 4 se observa una imagen de la maqueta ensayada y del equipamiento utilizado.

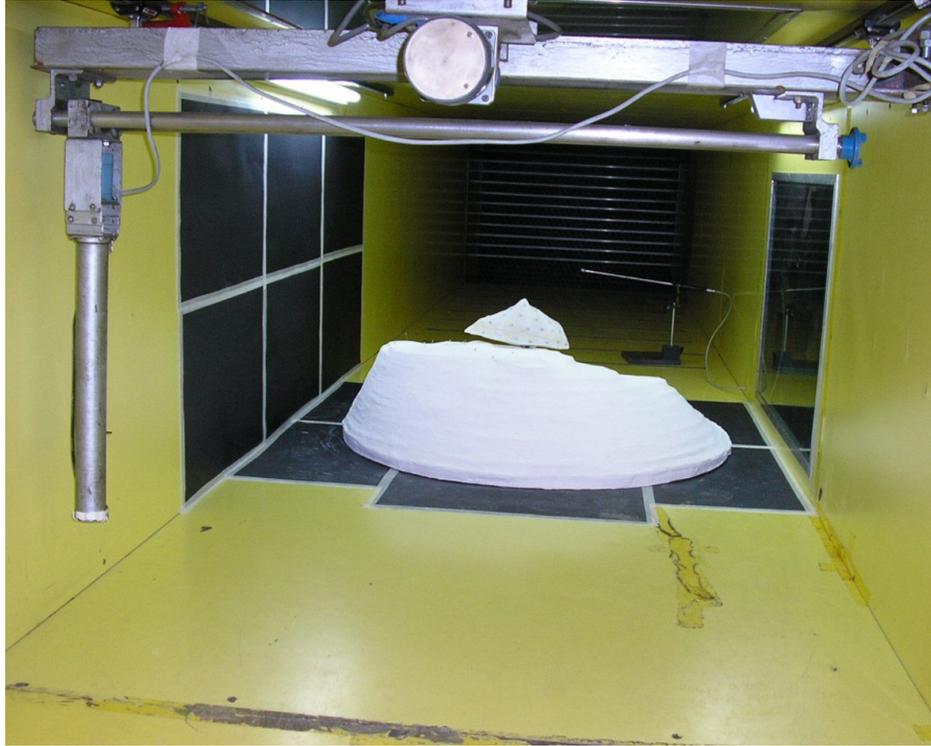


Figura 4. Ensayo en Túnel de Viento

RECUBRIMIENTO EXTERNO

La cubierta se realizó en taller con materiales compuestos (resina más fibra de vidrio) en toda la superficie externa (132 m², aproximadamente) de la réplica sobre el metal desplegado dispuesto, solidario a la estructura resistente, para tal fin por el contratista de la estructura metálica. Luego del montaje se realizaron retoques y terminaciones en obra y se cubrieron los elementos de las placas de la base que quedaron a la vista simulando la continuidad del cerro.

El material de la cubierta debía cumplir una función estructural por lo cual debía reunir determinados requisitos de resistencia, rigidez y durabilidad. Dadas las particularidades del proyecto con el material de la cubierta debía lograrse la simulación de la textura y color de la piedra original, y su peso debió optimizarse a efectos de facilitar la tarea de izaje de la réplica.

A tal fin y, para lograr el espesor del recubrimiento se realizaron tres capas de diferentes propiedades físicas y mecánicas, cuidando que en la unión de las mismas exista una perfecta transición con el objeto de soportar las tensiones interfaciales que se produzcan entre los laminados estructurales y la capa de color y textura externa símil granito. Considerando lo anterior, se definió al recubrimiento constituido por las siguientes capas:

1. Capa Estructural: Es la capa que provee las propiedades mecánicas finales del laminado estructural.
2. Capa de Color y Textura: Es la capa que provee el color y la textura final símil granito de la réplica. Se considera que actúa como barrera UV.

3. Capa de Terminación: La misma provee una cubierta tipo “clear” a la capa de color y textura sin modificar las características visuales que ésta proporciona. Se considera a la misma como el elemento de control para el diseño del plan de mantenimiento preventivo de la réplica.

1. 1 Capa Estructural

Esta capa es la que provee las propiedades mecánicas del recubrimiento. La misma está conformada por un esquema de laminados teniendo en cuenta la forma de utilización de los materiales compuestos, es decir disponiendo varias delgadas capas sucesivas, firmemente unidas entre sí hasta llegar a un espesor adecuado para el uso. Las distintas láminas están constituidas por distintas geometrías de fibras dispuestas en la misma o en distintas direcciones, obteniéndose materiales con propiedades distintas, en distintas direcciones (materiales isotrópicos y/o ortotrópicos). Se dispusieron las distintas capas a efectos de que con fibras en distintas orientaciones, estas propiedades permiten un dimensionamiento eficiente, logrando un sistema estructural óptimo desde el punto de vista de la resistencia y la rigidez con márgenes de seguridad apropiados y sin sobrepesos innecesarios.

La capa estructural se realizó aplicando una primera lámina de resina + fibra de vidrio y luego sucesivas según el esquema de laminado tradicional matt-woven roving por el método de laminación manual.

Se siguieron las especificaciones del fabricante de resina en lo referido al tiempo de espera, gelado, etc. para proceder a la aplicación de las sucesivas capas de resina + fibra de vidrio. Las distintas láminas se trabajaron mediante rodillo para lograr una distribución de espesores uniformes, adecuada compactación y evacuación de aire atrapado.

Para el curado en frío de la resina se siguieron las recomendaciones del proveedor de resinas respecto a los tiempos y temperaturas de proceso.

Posteriormente se realizó una etapa de curado, según recomendación del fabricante, para asegurar el mayor grado de entrecruzamiento de la resina y lograr de esta manera las mejores propiedades mecánicas y la eliminación del estireno libre.

El laminado estructural contiene como mínimo 35 % en peso de vidrio (19% en volumen) con un valor máximo de contenido de burbujas del 5% en volumen del laminado.

Las propiedades mecánicas finales mínimas del laminado se ajustan a las determinadas por normas ASTM D638 y ASTM D790:

Módulo de Tracción (GPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)	Módulo de Flexión (GPa)	Resistencia a la Flexión (MPa)
3.4	140	2.1	190

1.2 Capa de Textura y Color

Con la capa de textura y color se logró el aspecto visual de la réplica acorde a la textura y color de la piedra natural (granito).

Esta capa se realizó con un material compuesto particularizado, utilizando la misma resina que se usó en la capa estructural. Con el agregado de partículas y pigmentos (orgánicos e inorgánicos) se logró un revestimiento con las características de color, tixotropía y textura final indicadas. Siguiendo las especificaciones del fabricante de resina (tiempo de espera, gelación, etc.) se procederá a aplicar capas de revestimiento, en forma de estratos o “manos” sucesivos. Los distintos estratos contienen resina + aditivo anti UV + agente opacante +cargas +pigmentos, hasta lograr las características previstas.

Posteriormente, se aplicó la capa final o de terminación.

1.3 Capa de Terminación

La capa de terminación provee la protección contra la agresión del medio ambiente a la capa de textura y color. La misma es acorde a las características físicas y químicas necesarias que determinan la capa de textura y color con el objeto de obtener la mejor transición y adhesión, además el efecto visual que se provoque debe ser nulo, por lo que la misma es del tipo “clear”. Se considera para este tipo de recubrimiento, los del tipo epoxi o poliuretánicos. Tanto la capa anterior como la de terminación proporcionan efectos de barrera de rayos UV complementarios entre sí considerando las recomendaciones del fabricante.

El desarrollo de la capa de terminación se utilizará como elemento de control para diseñar el plan de mantenimiento preventivo de la superficie de textura y color acorde con las especificaciones del fabricante para la acción ambiental de la zona donde se emplazó la réplica de la Piedra de Tandil.

En Figura 5 se muestra una comparación entre probeta y piedra original durante el desarrollo del proyecto.

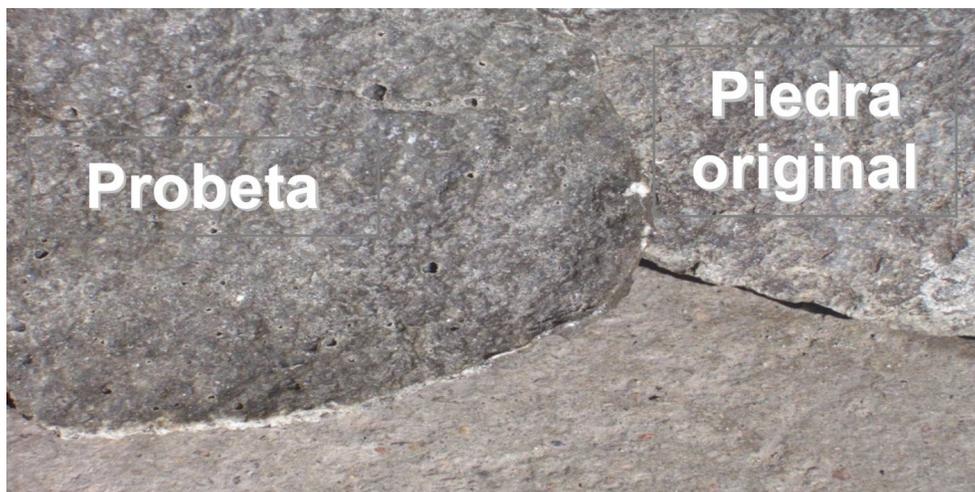


Figura 5. Comparación de textura y color (probeta y piedra)

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

La tipología adoptada e indicada en Figuras 6 y 7, consistió en una estructura metálica interna que se construyó en taller y está formada por un entramado constituido por cuatro reticulados dispuestos en dos planos ortogonales de acuerdo a Figura 6. Estos reticulados descargan en una columna o mástil reticulado dispuesto centrado respecto del punto geográfico relevado e indicado como centro del apoyo con su eje vertical coincidente con la vertical del lugar. La estructura se complementa con cuadernas exteriores transversales, longitudinales y horizontales, construidas con planchuelas soldadas en forma de T, que cumplen con una doble función: por un lado copiar la geometría externa de la piedra y servir de molde para la cubierta exterior y, por otro lado, cumplen con la función resistente de transmitir los esfuerzos que provocan las acciones (viento en las distintas direcciones) a la estructura interna. La conexión de las cuadernas horizontales exteriores con los reticulados se realizó, fundamentalmente en tres planos que cumplen la función de arriostramientos horizontales.

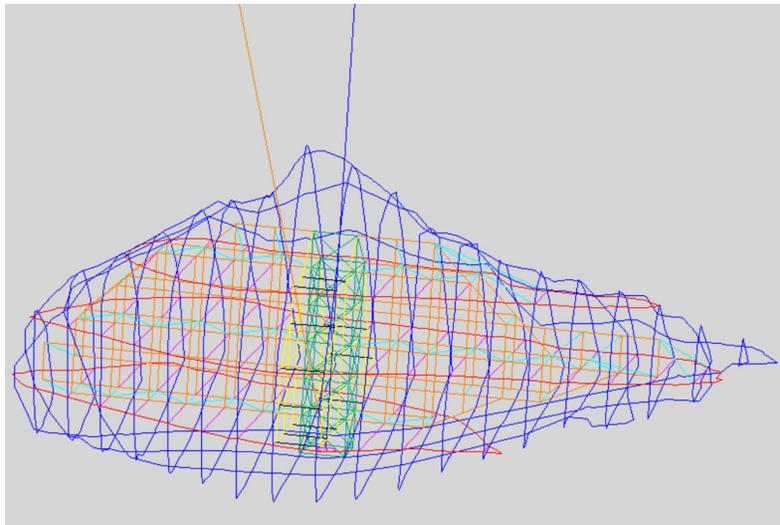


Figura 6. Tipología estructural espacial

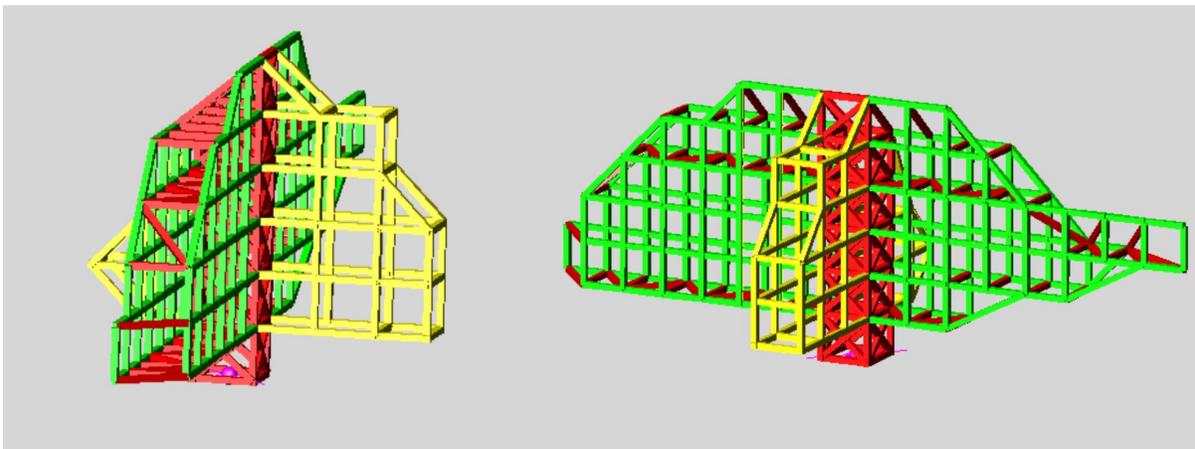
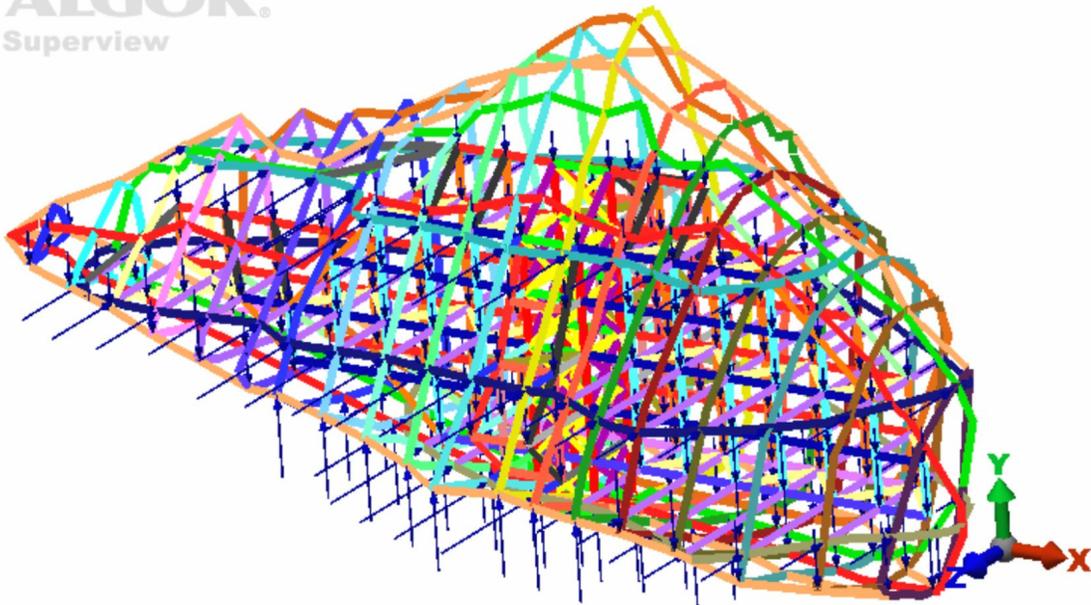


Figura 7. Reticulados ortogonales y columna central

A partir del predimensionado efectuado mediante el análisis sobre modelos planos, se realizaron análisis estáticos espaciales considerando 9 hipótesis de cargas correspondientes a la consideración de cargas permanentes y a la combinación de los 8 estados de cargas de vientos independientes con la carga permanente. A modo de ejemplo en la Figura 8 se presenta la hipótesis que combina el estado de cargas permanentes con viento Norte.

ALGOR.
Superview



ad Case: 1 of 2

: 1 of 2

Figura 8. Modelo espacial con Viento Norte y cargas permanentes

Se procedió, posteriormente, al análisis dinámico obteniéndose las características propias de la estructura a efectos de su comparación con la información aportada por los ensayos en túnel de viento, referida al rango de frecuencias normalizadas en que se concentra la mayor energía de cargas aerodinámicas no estacionarias. El rango informado de frecuencias normalizadas fue 0.2 a 0.7 que se corresponde con una frecuencia de las cargas dinámicas de 1.7 y 6.5 Hz.

Los primeros análisis dinámicos efectuados con el predimensionado utilizado en los análisis estáticos arrojaron valores de la frecuencia fundamental que estaba en el rango de frecuencias medidos en el túnel de viento, es decir en el rango de frecuencias peligrosas. Ello motivó la rigidización de la columna de la estructura y de otras zonas de importancia que permitió llegar a una frecuencia fundamental de 8 Hz alejada del rango de excitación mencionado.

DISEÑO DE LA FUNDACION

Este aspecto requirió especial atención dado que, si bien el macizo rocoso es de baja densidad de fisuración, existe una discontinuidad presente que coincide prácticamente con la zona de anclaje de la réplica. Se diseñó la fundación con 4 anclajes estructurales insertos en el macizo

rocoso a 5 metros de profundidad y dispuestos 2 inclinados hacia el corazón del cerro y 2 verticales hacia el valle. Por durabilidad se especificó una doble barrera anticorrosiva para los insertos que están constituidos por barras de acero de calidad 500/550 de 32 mm. Los anclajes fueron tomados por una placa de anclaje de 3 pulgadas de espesor que fue preparada en taller con 20 pernos dispuestos en espera para el posterior montaje de la réplica a través de su placa base. Se especificaron las correspondientes pruebas de control o arrancamiento normalizadas de los anclajes.

DIMENSIONADO

Se efectuaron las comprobaciones para las máximas solicitaciones de los diferentes elementos de la estructura uniformando secciones para los diferentes tipos de elementos que la constituyen.

Se elaboró la documentación técnica y se especificó el proceso constructivo.

EL PROCESO CONSTRUCTIVO

La estructura se construyó en una metalúrgica de la ciudad de Tandil. La columna y reticulados ortogonales se prepararon y ensamblaron en la metalúrgica, mientras que las cuadernas fueron cortadas en pantógrafo, de acuerdo a la documentación técnica previamente elaborada, resultando aproximadamente 400 partes diferentes que, mediante un cuidadoso trabajo, fueron correctamente ensambladas en taller.

En Figuras 9, 10 y 11 se observa la columna, los reticulados y parte de las cuadernas y la disposición de las cuadernas transversales y placa base respectivamente.

La cubierta, Figura 12, se construyó en el taller de acuerdo a lo especificado, realizándose algunos ajustes en la dosificación de la capa de color y textura con la colaboración de artistas plásticos de la ciudad de Tandil que desinteresadamente colaboraron con la tarea.



Figura 9. Columna central



Figura 10. Reticulados y cuadernas



Figura 11. Disposición de cuadernas transversales y placa base



Figura 12. Construcción de la Cubierta

La ejecución de las perforaciones para los anclajes, bajo la supervisión de un geólogo, fueron realizadas, Figura 13, con los recaudos correspondientes dado lo particular del sitio donde se realizaron. Los anclajes fueron materializados por una empresa especializada en anclajes en roca que colocaron los insertos y realizaron las inyecciones de acuerdo a las especificaciones. La placa de anclaje, Figura 14, fue izada con la grúa ya instalada al pie del cerro para el montaje de la réplica. La placa de anclaje con sus 20 bulones quedó a la espera de la réplica que debía encastrarse mediante la placa base preparada para ser unida a ella mediante los bulones dispuestos a tal fin.



Figura 13. Perforaciones para los anclajes



Figura 14. Placa de anclaje y bulones

El traslado de la réplica, Figura 15, desde el taller al pie del cerro estuvo cargado de emotividad ya que en todo el recorrido fue acompañada por la gente que con banderas y aplausos demostró lo que este hecho significaba para ellos.



Figura 15: El traslado de la réplica

El montaje de la réplica requirió el emplazamiento de una grúa de gran porte al pie del cerro dado que debía desplegar un brazo de 108 metros con un peso de 9 toneladas.



Figura 16. Brazo de la grúa



Figura 17. Llegada de la réplica a la cima

Luego de aproximadamente cuatro meses que demandó el proceso constructivo, el 13 de Mayo del presente año se coronó con éxito la réplica en el coronamiento del cerro y el 17 de Mayo se realizó el acto inaugural con la presencia de los señores Presidente y Vicepresidente de la Nación, el señor Gobernador de la Provincia de Bs. As., el señor Intendente Municipal de la ciudad de Tandil y alrededor de 12.000 personas asistentes al acto.



Figura 18. La inauguración



Figura 19. La Réplica y la ubicación definitiva

COMENTARIOS FINALES

Esta obra tan particular, en lo referido al impacto social que la misma produjo, requirió de estudios multidisciplinarios especializados y de la utilización de procesos constructivos especiales, lo cual revaloriza una vez más el importante rol que la ingeniería tiene en la sociedad. Posibilitó, asimismo, la transferencia de conocimientos desde la Universidad a la comunidad a través del abordaje de problemas reales.

REFERENCIAS

[1] El Hage, E.; Levy, P. "La Piedra Viva", Alfredo Bossio Artes Gráficas, Tandil, Argentina, Mayo 2007.