

## EL PROTAGONISMO DEL INGENIERO AGRIMENSOR EN LAS OBRAS DE INGENIERÍA

Aldo Oscar Mangiaterra

Grupo de Geodesia Satelital de Rosario - Universidad Nacional de Rosario - Rosario – Argentina

tel. 0341-4391370 – [aldomangiaterra@gmail.com](mailto:aldomangiaterra@gmail.com)

Armando Del Bianco - empresa Del Bianco y Asociados - Córdoba Argentina

0351-4724716 – [adelbianco@ciudad.com.ar](mailto:adelbianco@ciudad.com.ar)

Daniel Badalassi - Universidad Nacional de Rosario - Rosario – Argentina

0347-4266562 – [badalasi@fceia.unr.edu.ar](mailto:badalasi@fceia.unr.edu.ar)

Pascual Calvo - Universidad Nacional de Rosario - Rosario – Argentina

0341- 4491531 – [pcalvo@sinectis.com.ar](mailto:pcalvo@sinectis.com.ar)

### **PALABRAS CLAVES:**

mediciones en ingeniería - estructura geométrica - tolerancias constructivas - obras civiles - obras industriales

### **RESUMEN:**

Para el Ingeniero Agrimensor la obra de ingeniería es un conjunto de estructuras geoméricamente definidas y espacialmente relacionadas, que deben cumplir condiciones de FORMA – DIMENSION - UBICACIÓN definidas en el proyecto ejecutivo.

El Ingeniero Agrimensor garantiza el respeto de las tolerancias, “dibujando” la obra en el terreno, en escala 1:1 y en tres dimensiones.

La clave está en diseñar, en el mismo proyecto, un adecuado sistema de referencia e iniciar la ejecución construyendo un marco que lo materialice, el cual constituye “la estructura geométrica de la obra”, conocido como Sistema Planialtimétrico de Apoyo.

### **Conclusiones e Importancia**

Quando se requieren determinaciones geométricas que implican:

- a) precisiones propias de las obras de ingeniería
- b) espacios significativos
- c) mediciones in situ
- d) y tiempos exiguos

ES NECESARIO APELAR A LOS PROFESIONALES, LOS CONOCIMIENTOS Y LOS INSTRUMENTOS DE LA AGRIMENSURA.

Concebimos al Ingeniero Agrimensor, como protagonista en la construcción, montaje, ampliación, auscultación y control de las obras de ingeniería.

Consideramos que dicha actividad constituye una rama natural del despliegue de sus conocimientos y habilidades y que, cuando se la encara sistemáticamente, se torna en una especialidad.

# EL PROTAGONISMO DEL INGENIERO AGRIMENSOR EN LAS OBRAS DE INGENIERÍA

## 1.- Introducción

Concebimos al Ingeniero Agrimensor como uno de los protagonistas en la construcción, montaje, ampliación, auscultación y control de las obras de ingeniería, sean civiles o industriales. Consideramos que dicha actividad constituye una rama natural del despliegue de sus conocimientos y habilidades y que, cuando se la encara sistemáticamente, se torna en una especialidad. No se trata de una casuística ocasional, tal como algunos han pretendido, ni de un servicio auxiliar circunstancial prestado a profesionales de otras ramas de la ingeniería.

¿Cuál es el basamento de tal afirmación?

Cualquier obra de ingeniería puede ser considerada desde distintos enfoques, cada uno de ellos propio de la profesión o del interés de quie la analiza. Así, por ejemplo, una represa hidroeléctrica podrá ser vista desde su significación en la producción de energía, o por su incidencia en la demanda de mano de obra, o bien por su importancia geopolítica, etc., pero para el Ingeniero Agrimensor el punto de vista es el geométrico. Vista desde los parámetros de esta profesión la obra de ingeniería no es otra cosa que un conjunto de estructuras materiales geoméricamente definidas y espacialmente relacionadas; por lo tanto cada una de esas estructuras, pequeñas o grandes, livianas o pesadas, etc., debe responder a 3 condiciones preestablecidas de FORMA, DIMENSION y UBICACIÓN.

Esto ha sido así desde antigua data. Para poner un ejemplo clásico y de antigüedad milenaria podríamos citar los acueductos romanos, notables algunos de ellos por su eficiencia e incluso por la elegancia de sus líneas, constituyendo un verdadero alarde del ingenio humano. Lo que varía con el devenir histórico es la manera para lograr el cumplimiento de las condiciones necesarias, es decir la tecnología y sus técnicas derivadas. Y esto es así en todos los órdenes; en el geométrico también. Las modernas técnicas constructivas y de montaje, son cada vez más exigentes y requieren de mayor calidad geométrica en cada uno de sus pasos.

El Ingeniero Agrimensor “dibuja” la obra en escala 1:1 y en tres dimensiones; para decirlo parafraseando las inigualables palabras del poeta José Pedroni, puebla el espacio con figuras y volúmenes.

La clave de esa labor está en diseñar, en la etapa que antecede al proyecto, un adecuado sistema de referencia y la construcción de un marco de referencia que lo materialice.

Ese marco, así definido, al que solemos llamar Sistema de Apoyo, no es otra cosa que “la estructura geométrica de la obra”, necesaria para su ejecución y de perdurabilidad conveniente para posteriores ampliaciones, modificaciones y/o controles. El marco está compuesto tan sólo de algunos puntos, los que por sí mismos son insignificantes frente a los visibles y muchas veces imponentes componentes de la obra. A los ojos del observador desprevenido ¿qué pueden significar algunos puntos (aunque materialicen el eje principal de un gran emprendimiento), frente a la monumental escollera de una presa, un conjunto de columnas y vigas, un horno o una esclusa? A tal punto resulta singular esa estructura geométrica que, sin temor a exagerar, se puede decir que pasa inadvertida para todo aquél que la desconozca previamente, razón por la cual solemos llamarla, irónicamente, la estructura fantasma de la obra.

El Sistema Planialtimétrico de Apoyo debe reunir algunas condiciones, por su calidad y su materialidad, a saber:

- debe ser único, en tanto debe haber correspondencia biunívoca entre cada punto de la obra y el juego de coordenadas que lo ubica en el espacio
- debe tener la precisión adecuada
- debe ser estable
- debe ser dinámico (crece con la obra y en parte también se destruye)

## **2.- La Participación de la Agrimensura en las Obras Civiles**

La tarea del Ing. Agrimensor, comienza en el instante mismo que se crea la necesidad de proyectar una Obra de Ingeniería. Interviene por primera vez generando la cartografía básica que servirá para la generación de la factibilidad o directamente para el anteproyecto.

Habiéndose cumplidas todas las etapas previas, es decir habiéndose realizado los estudios de factibilidad y de presupuesto, habiendo analizado las distintas variantes y alternativas posibles, y habiéndose aprobado el anteproyecto, se decide encarar el proyecto ejecutivo. En ese momento el proyectista encarga el levantamiento topográfico y relevamiento de detalles, que será la base para la generación del Modelo Digital del Terreno. Para ello el Ing. Agrimensor, planificará, materializará y medirá el Sistema de Apoyo. Volverá a participar luego en el replanteo de los lineamientos geométricos que materialicen la estructura de la obra civil. Finalmente participará en el control de deformaciones y/o asentamientos. El proceso es un círculo que se repite permanentemente: El Relevamiento es la representación de una porción de la corteza terrestre que pertenece a la realidad, a través de la construcción de un modelo digital. El Proyecto ejecutivo es una maqueta abstracta de la realidad modificada. El replanteo traslada el proyecto al terreno. La construcción de la obra modifica la realidad, y volverá a reiniciarse el ciclo con la llegada de una nueva idea o necesidad.

### **2.1 La elaboración de la Cartografía Básica**

A los efectos de realizar los estudios de factibilidad, las variantes y alternativas posibles y generar el anteproyecto, fundamentalmente para los estudios hidrológicos, geológicos y análisis de costos de expropiación, el Ingeniero Agrimensor lo hace aportando cartografía de línea y cartografía de imagen en pequeñas escalas.

### **2.2 La realidad es un puzzle perfecto**

El proyecto geométrico, es un modelo conceptual, en este caso de la realidad modificada, es como si se hiciese una incisión de la realidad, quitamos una pieza del puzzle real y lo reemplazamos por otra pieza nueva. Queda claro que esta nueva pieza debe coincidir, empalmar “exactamente” con el entorno. Cuando decimos “exactamente”, nos estamos refiriendo a que el punto replanteado debe quedar cerrado dentro de una elipse de tolerancia pre establecida.


En la mayoría de los casos, el proyecto lo ejecuta un equipo guberbamental o una empresa consultora, que recurre a Agrimensores para la labor topográfica del Relevamiento, mientras que las mediciones del Replanteo, las realizan Agrimensores y topógrafos pertenecientes al equipo a cargo de la construcción. Es decir distintas personas, con distintas metodologías de trabajo, con distintos instrumentales de medición – muchas veces no calibrados – problema que se agrava por los tiempos que suelen transcurrir entre la ejecución del proyecto y la adjudicación de la obra; pero el problema más grave es que probablemente quien ejecutó el relevamiento haya utili-

zado un Sistema de Referencia local y arbitrario, con precisiones inferiores a las de las tolerancias constructivas.

Por consiguiente pueden surgir problemas a la hora de la construcción de la obra, más precisamente en los lugares en que empalman proyecto y realidad.

La obra civil debe empalmar con el entorno existente, calles, avenidas, cordones cunetas, instalaciones (cloacas, desagües pluviales), servicios (red de agua, gas, electricidad, etc.). Las diferencias entre el relevamiento y el replanteo se pueden manifestar como un error: de escala – de traslación – de rotación o un error de altura, y/o la combinación de ellos. En el caso de una pavimentación un error de altura puede significar que se hayan calculado mal las obras hidráulicas de desagüe y que el nivel líquido supere los umbrales de las viviendas.

Las diferencias entre los relevamientos que dieron origen al proyecto y el replanteo, los paga la obra, realizando nuevos relevamientos en cada problema y ejecutando parches, remiendos y “transiciones”. La falta de una estrecha relación entre el relevamiento y el replanteo en las obras civiles puede generar, además de mayores costos y retrasos importantes en los avances de obra, peor aún importantes accidentes.

 ¿Cómo solucionar estos inconvenientes? ¿Cómo minimizar el impacto en los mayores costos de obra por causa de las diferencias entre relevamiento y replanteo? ¿Cómo podemos asegurar las tolerancias?

La solución es la materialización y medición de una **sólida estructura geométrica** que vincule estrechamente el relevamiento original con el replanteo de la obra, una columna vertebral que la rigidice, que en nuestro lenguaje denominamos “Sistema Geométrico de Apoyo”.

### 2.3 El Sistema de Apoyo Principal

Por lo antes dicho, es la esencia misma de la calidad geométrica del Proyecto y en consecuencia de la Obra. Se ejecuta previo al Relevamiento

Es una estructura geométrica, que vincula estrechamente la realidad con el proyecto, el replanteo y la construcción de la Obra. Una estructura geométrica, que ata con hilos invisibles, las piezas del rompecabezas, asegurando las precisiones necesarias. Un sistema de apoyo, es la columna vertebral que sirve de sustento, fija la escala, garantiza la homogeneidad de las exactitudes, georreferencia el proyecto ejecutivo y asegura una estrecha relación entre:

el levantamiento topográfico → el proyecto ejecutivo → y el replanteo de las obras

Al Sistema Geométrico de Apoyo lo conforman: El Sistema y el Marco de Referencia

#### 2.3.1 Sistema y Marco de Referencia Horizontal

En todos los casos, sea que se trate de obras de desarrollo lineal o de obras de desarrollo superficial, es imprescindible **georreferenciar** el sistema de apoyo, trabajar en el Sistema mundial WGS'84, vinculándose a través de las redes nacionales pasivas, o mediante el empleo de redes activas (preferentemente éstas últimas por su rapidez y comodidad); en Argentina mediante la red geodésica nacional POSGAR 2007 basada en ITRF05.

#### 2.3.2 Sistema y Marco de Referencia Vertical

Sistema de Referencia: Cota Ortométrica / Altura sobre el nivel medio del mar

Marco de Referencia: en Argentina la Red altimétrica del Instituto Geográfico Nacional.

#### 2.3.3 Algunas ventajas de Georreferenciar los proyectos de ingeniería

Si desaparece el Sistema de apoyo, se puede reconstruir. Las interferencias subterráneas dejarán de ser un problema o un peligro si los planos conformes a obra están georreferenciados. Se eliminan los problemas de empalmes en distintos proyectos de ingeniería y arquitectura que se tocan o se superponen. Algunos Catastros provinciales ya tienen sus registros georreferenciados y es una enorme ventaja que el proyecto esté en el mismo sistema, a los fines de realizar las mensuras de expropiación y de servidumbres.

En el Congreso internacional CIELA 2006 realizado en Córdoba, los autores presentaron una ponencia para la redacción de Normas a emplearse en la confección de pliegos para licitaciones y proyectos de la Obra Pública, y entre otros puntos, se destacaba la necesidad de georreferenciar los proyectos de ingeniería.

#### **2.3.4 El Sistema de Apoyo en la Obras de Desarrollo Lineal**

Generalmente las obras de desarrollo longitudinal se extienden superando el límite topográfico (algo más que la decena de kilómetros); por lo tanto será conveniente emplear una proyección cartográfica. Esto puede dar lugar al uso de dos sistemas de referencia: uno el sistema georreferenciado de coordenadas proyectadas sobre el plano y el otro un sistema de coordenadas rectangulares, donde el eje de las abscisas coincide con la línea curva del proyecto y las ordenadas son perpendiculares en cada punto.

**2.3.4.1 Diseño:** En las obras de desarrollo lineal, el sistema de apoyo es una poligonal, cuyos vértices deberán colocarse de modo tal de asegurar la intervisibilidad entre los mismos, con el propósito de permitir el empleo del método polar con estación total, tanto para el Levantamiento Topográfico inicial como para el posterior replanteo. En las Líneas de Alta Tensión y Gasoductos, donde el diseño geométrico no depende del escurrimiento, todo el relevamiento y el replanteo de piquetes puede hacerse empleando GNSS y obtener la altura empleando un modelo de geoide. En este caso la distancia entre vértices dependerá del empleo de instrumentos de simple o doble frecuencia y del uso del RTK, en cuyo caso las distancias entre vértices dependerán del alcance de las comunicaciones del radio modem.

**2.3.4.2 Mediciones Planimétricas:** Conforme a las precisiones requeridas, en la mayoría de los casos es suficiente determinar las coordenadas de los vértices del sistema de apoyo principal, con una precisión del orden de pocos centímetros. La metodología más adecuada a aplicar es determinar la posición en cada vértice, empleando GNSS. Si se empleara estación total el método acumula errores y es inseguro por tratarse de una poligonal abierta sin control; por ello es necesario posicionar con GNSS ambos extremos, a fin de asegurar el cierre planimétrico al transformar la poligonal abierta en una poligonal doblemente atada y concretar la georreferenciación.

**2.3.4.3 Mediciones Altimétricas:** En las Obras Hidráulicas y obras Viales se debe descartar todo tipo de nivelación trigonométrica o satelital, empleando únicamente la nivelación diferencial en ida y vuelta, utilizando preferentemente niveles digitales con miras graduadas con código de barras. Por el contrario en los gasoductos, poliductos, etc., donde los fluidos son conducidos por alta presión y en los electroductos, la determinación de la altura podrá hacerse mediante el auxilio de un ajustado modelo regional de ondulaciones geoidales.

#### **2.3.5.- El Sistema de Apoyo en la Obras de Desarrollo Superficial**

**2.3.5.1 Diseño:** En las obras de desarrollo superficial el sistema de apoyo es una red, cuyos vértices deberán colocarse de modo tal de asegurar la intervisibilidad entre los mismos, con el propósito de permitir el empleo del método polar con estación

total para el levantamiento inicial y posterior replanteo. La configuración deberá ser de figuras aproximadamente regulares, envolviendo y cubriendo el desarrollo de la futura obra.

**2.3.5.2 Mediciones Planimétricas:** Conforme a las precisiones requeridas, en la mayoría de los casos es suficiente determinar las coordenadas de los vértices del sistema de apoyo principal, con una precisión de uno o dos centímetros. La metodología más práctica suele ser determinar la posición en cada vértice empleando GNSS. Si se empleara estación total, al tratarse de figuras cerradas y la posibilidad de mediciones sobeabundantes, es factible calcular las elipses de error y efectuar los ajustes que permitan asegurar las precisiones requeridas. De cualquier modo, es necesario posicionar con GNSS al menos dos vértices extremos, a fin de concretar la georreferenciación. Es necesario aclarar que, midiendo figuras cerradas con GNSS, también se obtienen elipses de error.-

**2.3.5.3 Mediciones Altimétricas:** El 100% de las obras superficiales, llevan consigo el proyecto de obras hidráulicas de conducción por gravedad; por lo tanto la determinación de la altura deberá hacerse con nivelación diferencial realizada en ida y vuelta, o rodeos cerrados.

#### **2.3.6.- Monumentación**

La materialización debe realizarse en lugares que perduren en el tiempo (fuera de la futura zona de ocupación de las obras) de fácil acceso y preferentemente con mojones de hormigón armado con una placa identificatoriaa del punto y a ras de terreno natural a fin de evitar su destrucción. Convenientemente la placa puede incluir un tetón cabeza redonda con un punto bajo relieve, para asegurar la centración milimétrica de los instrumentos de medición. De este modo, los mojones del sistema de apoyo principal, permiten el apoyo inequívoco de la base de la mira en la nivelación diferencial.

### **2.4.- Levantamiento Topográfico**

El Levantamiento Topográfico, es la realización de un muestreo criterioso de puntos del terreno representativos del relieve del terreno natural, es decir la determinación de la posición (X, Y, Cota) de puntos característicos del terreno. El objeto del levantamiento topográfico es la construcción de un “modelo” conceptual de la realidad, el cual es la base para la construcción del **MDE** (Modelo Digital de Elevaciones) que es una maqueta digital del relieve del terreno.

### **2.5.- Relevamiento de Detalles**

Es la tarea consistente en la Captura de Datos de la información que requiere el proyectista, generalmente de tres tipos:

- Información general – información para el Proyecto hidráulico - Información Dominial

Si bien se ha mencionado por separado el levantamiento topográfico del relevamiento, en la práctica los dos se hacen en forma conjunta: se registran puntos del relieve y la información de manera simultánea.

La Información capturada en el terreno mediante el relevamiento de detalles, volcada sobre el modelo digital del relieve (MDE), genera el **MDT** (Modelo digital del Terreno), que será el producto que recibirá el proyectista para la elaboración del Proyecto Ejecutivo. El Ing. Agrimensor deberá tener previsto en su planificación el Control de Calidad del MDT y derivados: planialtimetrías con curvas de nivel, perfiles, secciones, cómputos, etc. antes de proceder a la entrega de los mismos al consultor.

Esta etapa es importantísima, no podrá entregarse el resultado final sin el control de calidad, realizado de forma minuciosa y sistematizada.

## 2.6.- El Ingeniero Agrimensor y el Replanteo del Proyecto.

Una vez que se ha elaborado y aprobado el proyecto ejecutivo, y está pronto para ser materializado en una obra de ingeniería, esta importante responsabilidad recaerá nuevamente en el Ing. agrimensor, quien planificará, organizará y dirigirá un equipo de topógrafos.

## 2.7.- Replantear el proyecto es armar un gigante rompecabezas.

Replantear una obra de ingeniería o arquitectura, es “dibujar”, en escala 1:1 el proyecto. Es llevar al terreno lo que está contenido en los planos. Pero la construcción de la obra no es un todo compacto, sino que está integrado por decenas de obras que se van construyendo en distintos frentes, en forma simultánea o en tiempos diferentes, pero cada una de esas partes deben coincidir exactamente en sus contactos y en los empalmes con la realidad del entorno. Al igual que un gigantesco rompecabezas, las piezas deben encajar “exactamente” en el lugar adecuado.

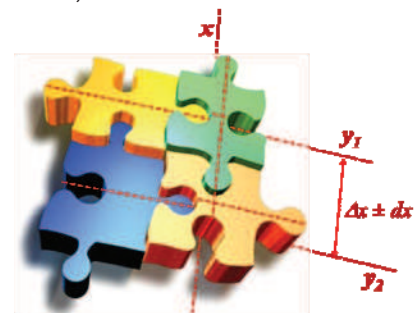
**2.8.- Las piezas del puzzle deben encajar unas con otras dentro de la tolerancia constructiva:** El espacio entre las piezas, debe ser menor que el semieje mayor de la elipse de error máxima admisible en cada caso (es lo que llamamos la elipse de tolerancia).

**¿Quién fija la tolerancia?** La fija la propia naturaleza y función de los elementos a construir, tales como: conductos aéreos, tuberías de instalaciones subterráneas, cintas transportadoras, vigas premoldeadas, piezas metálicas, etc.

Conforme sea su naturaleza y función, será la magnitud de la tolerancia constructiva.

**¿Cómo aseguramos que la elipse de confianza (2,5  $\sigma$ ) sea menor que la tolerancia?**

Cada pieza se desarrolla a partir de sus ejes principales, por lo tanto si aseguramos la tolerancia en cada uno de los ejes, de dos piezas que se contactan, estaremos garantizando la calidad del resultado.



## 2.9.- Ejes principales – Geometrialización – Georreferenciación

Los ejes de replanteo principales de cada obra o edificio, son generalmente paralelos o coincidentes con los ejes de referencia. Generalmente son ejes de simetría. A estos ejes, estarán acotados o referidos todos los demás ejes (secundarios y auxiliares del bloque), como así también todas las demás líneas y figuras geométricas que lo componen, vinculados a otros ejes principales. Cada parte del proyecto, posee su propio plano de replanteo; el primer paso consiste en determinar la estructura geométrica: los ejes principales de cada bloque y las relaciones con los otros ejes.

## 2.10.- Sistema de Apoyo del Replanteo

A partir de los vértices georreferenciados del Sistema de Apoyo del levantamiento topográfico y relevamiento de detalles, generar un Sistema de Apoyo para el replanteo de los ejes principales.

**2.10.1 Diseño:** Hay dos tipos de mojones, los mojones que son colocados de forma libre y otros que son colocados de forma fija sobre un eje principal.

**Libres:** tienen por objeto servir de estación para el replanteo de puntos con método polar, empleando estación total, deben ser intervisibles entre sí. Se monumentan de igual forma que los vértices del relevamiento, son premoldeados con una placa inserta, conteniendo un punto de centración redondeado a los fines de servir también como punto fijo altimétrico. Se genera una configuración homogénea, se realizan mediciones sobreabundantes a los fines de obtener elipses de error en cada vértice. El semieje mayor de la elipse de confianza ( $2.5 \sigma$ ), debe ser menor que la tolerancia establecida.

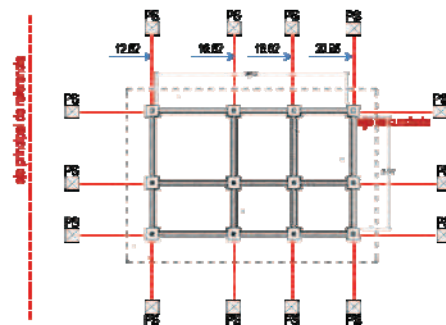
**Fijos:** Son puntos colocados por replanteo sobre los ejes principales y tienen por objeto servir de estación para emplear un método de replanteo por alineaciones. Se monumentan mediante un mojón de hormigón, realizado in situ, colocando una placa lisa con suficiente superficie a los efectos de replantear la alineación con la técnica adecuada para minimizar la influencia de los errores instrumentales.

### 2.11.- Cada bloque está compuesto por varias piezas menores

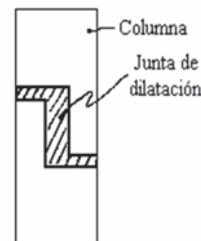
Cada subconjunto tiene sus propios ejes que se encuentran referidos a los ejes principales. A estos los llamamos ejes secundarios.

### 2.12.- Sistema de Apoyo Secundario

Los ejes secundarios se replantean generalmente por alineaciones desde un sistema de apoyo creado ad-hoc para cada obra, replanteado desde el Sistema de Apoyo principal. El diseño está formado exclusivamente por mojones colocados de forma fija sobre los ejes secundarios.



Las precisiones se reducen a algunos milímetros, muy ajustados por cierto, sin embargo generalmente las distancias entre ejes son cortas, al alcance de una ruleta de acero contrastado, lo que no permite lograr las precisiones sin dificultad y sin mediciones sobreabundantes; salvo algunas importantes excepciones como por ejemplo la colocación de algún tipo particular de insertos vinculados a la colocación posterior de estructuras metálicas.



## 3.- La Agrimensura en la industria

Se trata de un campo de trabajo propio, si bien distinto al de otras actividades de la profesión y seguramente menos difundido.

¿En qué consiste? Nuestra labor en todas las obras de ingeniería consiste en resolver problemas geométricos; pero en este caso se explicitan en un ámbito específico, el de la industria.

Tales problemas pueden ser:

- a) **Complicados** (geoméricamente hablando)



Por ejemplo determinar con alta precisión la posición relativa entre elementos separados por obstáculos inamovibles y en condiciones físicas sumamente dificultosas. Pongamos por caso dos máquinas situadas en distintos recintos entre las cuales se requiere comprobar el paralelismo de sus ejes. Otro ejemplo: determinar las correcciones óptimas (las menores posibles), para reparar una estructura deformada haciendo que recupere sus dimensiones teóricas dentro de los límites de tolerancia. Podemos citar la deformación de un horno de acería a causa de las altas temperaturas

**b) Encontrar la causa geométrica de un problema que no se manifiesta como tal**

Es lo que pasa con las ruedas de los llamados puentes-grúa que se utilizan en la industria: la consecuencia es un desgaste mecánico pero el origen es de carácter geométrico.

También a modo de ejemplo podemos citar un caso bastante habitual: el de máquinas cuyos elementos no respetan condiciones geométricas de trabajo ideales (por ejemplo perpendicularidad entre ejes), lo que hace que los esfuerzos se repartan de manera disímil y se produzcan roturas de algunos elementos de sujeción que deberían garantizar la estabilidad y posición de la maquinaria.

**c) Convertir un problema geométrico en otro distinto**

Ejemplo: controlar la perpendicularidad entre dos superficies puede ser dificultoso, pero puede no serlo tanto si es que se logra llevar a posición vertical una de ellas y comprobar la horizontalidad de la otra en forma independiente (o viceversa).

Desarrollar este tipo de trabajos requiere predisposición, pero además, entre otras, reunir algunas condiciones:

- lo que podríamos llamar mentalidad geométrica, es decir poder “pensar” en forma espacial, en tres dimensiones, superar la limitación en la que estamos educados, que generalmente nos lleva a representar el espacio mediante expresiones planas y a razonar sobre ellas (quizá aquí, en aras de continuar con el tema específico, debemos vencer la tentación de explayarnos en consideraciones científico-tecnológicas e incluso filosóficas, sobre la relación del hombre y el espacio).

- la otra condición es tener en cuenta que muchas de las técnicas habituales y efectivas en otro tipo de trabajos, ya sea porque requieren menor precisión, ya porque abarcan espacios mucho mayores, deben ser adaptadas a otras situaciones o incluso se requiere inventar nuevas formas de aplicar los conocimientos tecnológicos adquiridos; baste señalar que con un aparato óptico (estación total o nivel) se puede apreciar 0.1 mm (la décima de milímetro) si se observa a la distancia de pocos metros. De algún modo podríamos decir que es condición carecer de prejuicio, literalmente hablando.

Concluimos que cuando se requieren determinaciones geométricas que implican:

- **exigencias de precisión propias de los materiales metálicos y mas aún de la mecánica** (algunos milímetros o menos)
- **espacios significativos** (generalmente excediendo los dos o tres metros)
- **mediciones en el lugar** (fuera de laboratorio o taller – situación típica del montaje o la reparación)

**Es necesario apelar a los profesionales, los conocimientos y los instrumentos provenientes de la agrimensura**

### **3.1 Trabajos en la industria**

#### **3.1.1 condiciones generales a tener en cuenta**

A diferencia de lo que pasa en las obras civiles, la forma y dimensión de los componentes estructurales o mecánicos que intervienen ya está dada. El problema geométrico a

resolver es su ubicación, ya sea en términos absolutos o relativos, e incluso ambos a la vez.

En la industria predominan los elementos metálicos y por tanto se deben tener en cuenta tanto su plasticidad (posibilidad de deformarse) como también su elasticidad (posibilidad de deformarse ante una solicitud específica y después recuperar total o parcialmente su forma y dimensión anterior al desaparecer el motivo original de la deformación, caso típico la dilatación). Un ejemplo muy notorio es el de las vigas “contraflechadas”, que varían su forma según la carga a la que son sometidas. Las tolerancias con que se trabaja en la industria son, en general, mucho más exigentes que en las obras civiles. Tentativamente podemos hablar de valores que varían entre algunas décimas de milímetro (en casos especiales aún sensiblemente menores) y los 20 milímetros.

Es necesario tener en cuenta la diferencia que existe entre controlar:

- condiciones o valores **absolutos**, como pueden ser verticalidad, horizontalidad, coordenadas, alturas, alineación

- y, por otro lado, controlar condiciones o valores **relativos** como perpendicularidad, distancias entre elementos (horizontales, verticales u oblicuas), paralelismo, etc.

En la mayoría de los casos se trabaja en condiciones de interdisciplinariedad, con las dificultades y ventajas que ello implica y normalmente es indispensable contar con apoyatura específica de servicios diversos (iluminación, seguridad y otros).

En la industria, sobre todo si se trata de industrias ya en funcionamiento, puede ser necesario desempeñarse en condiciones ambientales muy desfavorables: oscuridad, ruido, polvo, altas temperaturas, etc., lo que requiere adoptar recaudos especiales y la seguridad tiene mayores exigencias, para las personas en primer lugar y también para los instrumentos. Es imprescindible contar con los conocimientos adecuados para cada condición ambiental específica.

Como contrapartida podríamos decir que los trabajos suelen tener el atractivo del desafío, de la ausencia de rutina; el trípode mas grande puede resultar pequeño y el mas pequeño ser inadecuado por su gran tamaño.

### 3.2 Estructuras

En la industria nos encontramos con dos tipos de estructuras. Convengamos que la siguiente clasificación está hecha desde un punto de vista particular, el que le es necesario al Ingeniero Agrimensor a los efectos de cumplir su cometido. Es por tanto tan necesaria como arbitraria.

Consideramos primero las que llamamos estructuras FIJAS, las que, a modo de ejemplo podemos identificar como bulones de anclaje, placas, columnas, vigas, rieles, etc.. Es decir todas aquellas que por su naturaleza tienen una posición en el espacio rígidamente establecida. En tales casos podemos decir que lo principal es su posicionamiento absoluto expresado a través de las coordenadas que le son asignadas en el proyecto o plano respectivo. No obstante, en algunas de ellas también interviene el posicionamiento relativo; por ejemplo el paralelismo entre rieles para desplazamiento de carros o para el funcionamiento de puentes-grúa.

En cuanto a las estructuras MOVILES se trata, valga la redundancia, de todas aquellas que por su función deben variar, temporaria o permanentemente, su posición en el espacio. Nos referimos a ruedas, ejes, brazos mecánicos o muchos otros componentes fácilmente identificables. Es obvio que, en tales casos, la condición preponderante es la que establece el posicionamiento relativo (perpendicularidad, paralelismo, etc.). No obstante en muchos casos ello debe lograrse en simultaneidad con el posicionamiento absoluto. Por ejemplo respetar una altura fija o la condición de verticalidad, etc.

### 3.3 Zonas críticas

El pasaje de la obra civil (en Argentina generalmente de hormigón armado), a las estructuras metálicas requiere especial atención. La base de hormigón debe tener altura pocos centímetros por debajo de la teórica, para permitir “jugar” con los suplementos de chapas metálicas hasta colocar la estructura metálica en la posición de proyecto. Posteriormente se llena el espacio entre una y otra estructura con cemento especial.

También son zonas críticas aquellas en que hay que vincular estructuras móviles con las fijas que las soportan. Si el proyecto o las especificaciones técnicas están bien elaboradas debe preverse una tolerancia de ensamble que permita pasar de tolerancias menos exigentes (para las estructuras fijas) a tolerancias más exigentes (para las estructuras móviles), lo que generalmente se logra mediante la técnica de aproximaciones sucesivas, las que a su vez están influenciadas por las ya mencionadas características de plasticidad y elasticidad de los materiales metálicos. Se trata en definitiva de una labor que suele requerir paciencia y rigurosidad, apelando al uso de “suplementos” (de medidas obviamente inferiores a la tolerancia exigida) que permitan aproximaciones sucesivas hasta lograr el posicionamiento correcto.

### 3.4 Montaje

Pero ¿cuáles son en concreto las tareas que el Ingeniero Agrimensor debe desempeñar en la industria? El montaje es una de las principales. Primero cuando se “monta” una industria, es decir cuando se construye una planta industrial; también cuando se la amplía o modifica y además cuando se efectúan reparaciones que requieren efectuar el montaje de nuevos equipos o de los antiguos ya reparados.

En el montaje el ingeniero Agrimensor tiene a su cargo el replanteo. Es necesario remarcar, una vez más, que ello requiere contar con un sistema de apoyo, es decir con una estructura geométrica de la obra, que brinde la necesaria precisión.

El montaje comienza, naturalmente, con el posicionamiento de las estructuras fijas, a partir de las cuales posteriormente es posible el montaje de las estructuras móviles.

Se trata entonces de resolver el posicionamiento y la relación adecuada entre relativo y absoluto, lo que debería tener natural concordancia aunque en la práctica concreta es posible que surjan situaciones contradictorias que habrá que resolver apelando a la consulta y el acuerdo con quienes dirigen la obra y/o con quienes son los beneficiarios de la misma.

Para poner un ejemplo típico mencionaremos el montaje de una nave industrial de acera que cuenta con puentes-grúa para el izaje y desplazamiento de insumos, herramientas y productos. Se comienza por el montaje de las columnas, se sigue con el de las vigas que las columnas soportan y sobre las vigas se montan los rieles que permitirán el desplazamiento del puente-grúa. Las especificaciones del proyecto deben establecer las tolerancias, tanto en el posicionamiento absoluto (coordenadas en el sistema de la obra), como en el relativo (viga respecto a columna y riel respecto a viga); si todo está proyectado como corresponde y si el montaje se efectúa correctamente, el resultado debería ser que ambos rieles (dentro de tolerancias) estuvieran a la altura proyectada, fueran paralelos y la distancia horizontal entre ellos (llamada trocha) fuera la teórica. En cada paso hay que realizar mediciones previas al montaje, posteriores al mismo para su control, correcciones si fueran necesarias y todo ello tal que vaya garantizando la calidad del resultado final.

La labor culmina precisamente en el control de ese resultado final, efectuando el relevamiento de la posición en que quedaron los rieles, de modo que se verifiquen las exigencias en cuanto a horizontalidad, altura, alineación, paralelismo y trocha. De ser ne-

cesario el Ingeniero Agrimensor deberá dar las indicaciones correctivas (en cuanto a lo geométrico) que permitan obtener el posicionamiento adecuado con la calidad exigida. Un caso particular muy ilustrativo es el de las cintas o mesas transportadoras, basadas en rodillos giratorios, que deben cumplir rigurosas condiciones geométricas para su correcto funcionamiento, como por ejemplo que los rodillos sean tangenciales a un único plano y que el eje del motor sea perpendicular al eje longitudinal de la cinta.

### **3.5 Relevamiento**

Otra tarea es el relevamiento de estructuras existentes.

Si se trata del relevamiento de una planta industrial completa o gran parte de ella, el mismo debe estar vinculado al sistema de apoyo que se utilizó para su construcción. Suele suceder que los puntos del mismo hayan desaparecido total o parcialmente. En tal caso es menester reconstruirlo total o parcialmente en un proceso inverso: partiendo de lo existente armar el sistema que le dio apoyo, cosa que no siempre es factible o puede no ser práctica. Es posible que no quede más remedio que constituir, con el mejor criterio posible, un nuevo sistema que servirá de apoyo para el relevamiento. En cambio, cuando el relevamiento comprenda sectores muy limitados, o incluso tan sólo uno o algunos equipos o maquinarias en particular, es suficiente con establecer algunos puntos criteriosamente elegidos que constituyen un sistema aislado y provisorio, de vida efímera o solo durable por un tiempo limitado que permita garantizar también la tarea posterior al relevamiento como puede ser una reparación o modificación. La tarea de relevamiento puede tener distintos fines:

#### **3.5.1 Mantenimiento preventivo**

Consiste en efectuar las mediciones necesarias para determinar si uno o varios elementos se han desplazado de su posición correcta o deformado más allá de lo que permiten las tolerancias establecidas y luego dar las indicaciones para efectuar las correcciones correspondientes; este trabajo se efectúa generalmente durante lo que en las industrias se denominan “paradas”, es decir cuando la planta se paraliza a los efectos de llevar a cabo todas las tareas inherentes a un adecuado estado de funcionamiento.

#### **3.5.2 Reparaciones**

Ante el surgimiento de desperfectos, roturas, deformaciones evidentes, etc., que afectan el funcionamiento y la producción, es necesario detectar causas de orden geométrico o, si son evidentes, proceder a efectuar las determinaciones necesarias para la reparación; suele ser un trabajo a realizar con urgencia; también es posible que para efectuar las mediciones se disponga de intervalos de tiempo relativamente cortos (por ejemplo pocas horas) en las cuales se puede operar sin interferir la producción y/o sin peligro para los operadores

#### **3.5.3 Proyectar modificaciones o ampliaciones**

Es como cualquier relevamiento previo a una obra de ingeniería, pero en el caso de las industrias requiere un minucioso y detallado relevamiento, de modo que las estructuras nuevas se diseñen y fabriquen ajustadas a la obra existente y que por tanto empalmen acertadamente con las que permanecen sin modificar

#### **3.5.4 Control de deformaciones**

En el proceso productivo, ya sea por las condiciones del mismo (como son en algunos casos las altas temperaturas), ya sea por anomalías preexistentes, en fin, por diferentes causas, pueden producirse deformaciones de estructuras (por ejemplo vigas que han sido sobrecargadas, dilatación excesiva, etc.); es necesario cuantificar las deformaciones midiéndolas, de modo que los especialistas puedan tomar las decisiones

correspondientes. Por ejemplo en estructuras como los hornos de gran porte el control debe ser periódico.

### **3.5.5 Calibración geométrica**

Hay casos en que es necesario ajustar elementos de una máquina o equipo para llevar su funcionamiento a un nivel óptimo; hay casos en que se requiere otra cosa, saber dimensiones reales para evaluar cuáles pueden ser los resultados de su funcionamiento en esas condiciones. Un ejemplo típico es de los tanques cilíndricos verticales y de gran porte para almacenamiento de líquidos, en los cuales se emite una tabla de calibración tal que a determinada variación de altura le corresponde determinada variación de volumen

### **3.5.6 Control de calidad dimensional**

En muchas industrias la calidad dimensional de sus productos es un tema clave porque por su naturaleza están destinados a empalmar o funcionar acorde con otros; podemos mencionar el caso de los contenedores o de la fabricación de piezas o estructuras que serán a su vez componentes incluidos en otras más grandes o complejas.

Por otra parte los folletos de propaganda de instrumental son prolíficos en fotos impactantes donde se controla la calidad dimensional en la fabricación de aviones o barcos.

## **3.6 Instrumental**

No es demasiado lo que pretendemos decir. Tan solo llamar la atención en el sentido de que existe instrumental especial y accesorios, de particular utilidad en trabajos en la industria. Solo mencionamos algunos como ejemplos: mira base invar, ocular acodado, plomada cenit-nadir, nivel de alta precisión, prisma de caras plano-paralelas adosables a niveles o estaciones totales, equipos para cálculo de coordenadas de alta precisión en tiempo real mediante intersección espacial, etc.

Merece párrafo aparte el escaner laser. Su empleo es inevitable para el relevamiento de grandes instalaciones industriales geoméricamente muy complejas, como por ejemplo destilerías, petroquímicas, etc.. Las posibilidades de precisión y rapidez son extraordinarias pero su costo establece una gran limitación. Con la práctica y el tiempo se irá definiendo mejor la combinación de ambas variables (costo y prestación). Como sucede en general con el instrumental hay una tendencia a disminuir su costo relativo.

La variable tiempo, siempre importante, en el caso de la industria puede serlo más aún, ya sea porque el montaje requiere cierto ritmo, ya porque hay que efectuar relevamientos o replanteos en períodos de interrupción de la actividad productiva que en algunos casos son breves.

## **4.- Precisión y control de calidad en las obras de ingeniería**

La precisión es siempre función del método, el instrumental y el tiempo disponible.

En el tema precisión suelen ponerse en evidencia interpretaciones distintas provenientes de diferentes profesiones. Por eso es de suma importancia: a) que las tolerancias estén claramente especificadas.- b) si es posible que haya una labor separada e independiente consistente en ejecución por un lado e inspección por el otro.- c) todo trabajo debe estar diseñado de manera que el método adoptado incluya las operaciones necesarias para el autocontrol; el tiempo de trabajo debe incluirlo.- d) el control de calidad debe incluir tanto la medición y el cálculo como la documentación; dentro de ésta tanto la que se recibe como la que se emite; un muy buen trabajo de medición y cálculo corre el riesgo de verse deslucido si la documentación que lo prueba no reúne la claridad necesaria.

## **5.- Las nuevas tecnologías y el perfil profesional**

Hace largo tiempo venimos elaborando y pregonando los conceptos antes señalados y nos preguntamos: - ¿Siguen siendo valederos, considerando el fabuloso salto en el conocimiento durante ese período? - ¿Las nuevas tecnologías proveen de instrumentos tan precisos que nos eximen del estudio de los errores y su propagación? - ¿Los cambios en la instrumentación, en la política y en la cultura, establecen nuevos paradigmas para el papel del Ingeniero Agrimensor en las obras de ingeniería?

En cuanto a la influencia de los fabulosos avances científico-tecnológicos de las últimas décadas nos referiremos solamente a su influencia en nuestra labor en las obras de ingeniería.

El desarrollo de la informática y la electrónica han servido de plataforma de lanzamiento de un paquete tecnológico inimaginable. Contamos con poderosísimas herramientas para la adquisición de información espacial y para el cálculo y la graficación.

Simultáneamente y en similar medida se ha modificado la demanda de obras de ingeniería, su sofisticación y las técnicas de construcción, mantenimiento y control.

Las nuevas herramientas, más poderosas y precisas, no suplantán al profesional.

**Por el contrario, como sucede en cualquier otra profesión, le demandan un saber más intelectualizado y una actualización constante.**

Es difícil imaginar hasta donde pueden llegar los requerimientos de precisión, pero es seguro afirmar que siempre será necesario trabajar con diferentes precisiones y diferentes instrumentos y que siempre se necesitará elegir el instrumental adecuado, diseñar el método más conveniente y evaluar la precisión efectivamente alcanzada. Debe haber coherencia entre la medición necesaria y el instrumento y método elegido.


Quizá el concepto más ilustrativo sobre cambios paradigmáticos es la **georreferenciación**. Anteriormente hemos señalado que cuando se pierde la monumentación del Sistema de Apoyo de una obra, el mismo es recuperable si ha sido georreferenciado. Al respecto, en otro trabajo, hemos dicho que: **“el juego de coordenadas que identifica un punto del objeto territorial es más seguro que el más robusto de los mojones”**

## **6.- Conclusiones Finales**

En esta presentación nos hemos abocado al protagonismo del Ing. Agrimensor sólo en las obras de ingeniería y la industria, fundamentalmente por razones de tiempo y espacio, pero queremos dejar en claro, que la misma no se agota en esos límites, sino que además la Auscultación en sí misma, es un capítulo aparte y ni que hablar de la participación del Ing. Agrimensor en la exploración y explotación de hidrocarburos y en la industria minera.

Desde hace más de tres décadas los autores de este trabajo hemos desarrollado actividad profesional en el campo de las obras de ingeniería, la arquitectura y la industria. Simultáneamente nos hemos desempeñado en la docencia universitaria y desde entonces hemos protagonizado la enseñanza de estos temas en la carrera de Agrimensura.

Estamos convencidos que cuando se requieren determinaciones geométricas que implican precisiones propias de las obras de ingeniería, trabajando en espacios significativos - en muchos caso extremadamente reducidos o en otros muy extensos - en tiempos exiguos y hasta incluso tener que realizar el relevamiento, cálculo y replanteo en tiempo real, la única solución posible es apelar a los profesionales, los conocimientos y los instrumentos de la Agrimensura.

 El profesional idóneo es el Ingeniero Agrimensor

En otras épocas era habitual en las obras de ingeniería requerir el servicio auxiliar de expertos en topografía, a menudo operadores experimentados, pero, tal cual ha sido desarrollado en esta presentación, en los procesos no sólo interviene la “topometría” sino que confluyen todas las disciplinas de la agrimensura: topografía, fotogrametría, cartografía, batimetría, geodesia, microgeodesia, teoría de errores y cálculo de compensación, etc. Es por ello que afirmamos que las mediciones destinadas a servir a las obras de Ingeniería y la industria, no pueden quedar solo en manos de idóneos cuyo arte y oficio aprendieron en la obra misma, aplicando el método de “ensayo y error”, sin perjuicio del valor que esa experiencia aporta.

La tendencia actual es el requerimiento de un profesional capaz de garantizar la calidad geométrica de los resultados. Por lo tanto si de nuevos paradigmas hablamos, vale como perfil profesional el indicado en el título de este trabajo: **el Ingeniero Agrimensor como protagonista en las obras de ingeniería**. Es decir, se requiere de una sólida formación científico-tecnológica, actualización permanente, manejo de herramientas de medición, cálculo y dibujo, y, por supuesto, criterio y sentido práctico.

A manera de colofón afirmamos que, “Invisible a los ojos”, el conocimiento sigue siendo lo más importante y la teoría sigue teniendo un papel principal. La formación de nuevos Ingenieros Agrimensores y la actualización continua de quienes están graduados, debe ser la principal preocupación de las Escuelas de Agrimensura y de los Colegios Profesionales.