

ACTAS ALEXANDER: LA EXTRACCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Esteban Dörries

Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia
Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica
edorries@una.ac.cr

RESUMEN

Después de una descripción del proceso histórico de demarcación de la frontera norte de Costa Rica, se detallan los datos contenidos en las llamadas "Actas Alexander" y se explican posibles criterios de comparación con la realidad física fronteriza. Se exponen los problemas que se presentaron en la extracción de datos y su tipificación. Las diversas herramientas matemáticas y cartográficas permitieron obtener, cotejar y definir la validez de la información.

PALABRAS CLAVES: frontera, demarcación, Nicaragua, Costa Rica, E. P. Alexander.

ABSTRACT

After a description of the historical process of demarcation of the northern border of Costa Rica, the data in the so called "Actas Alexander" (Alexander Dockets) is described in detail and possible criteria of comparison with the physical border reality is also explained. It is then followed by a description of the problems that appeared in the extraction of data and its characterization. The diverse mathematical and cartographic tools allowed to obtain, collate and to define the validity of the information.

KEYWORDS: border, demarcation, Nicaragua, Costa Rica, E. P. Alexander.

INTRODUCCIÓN

Este primer artículo es producto del proyecto de investigación de la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia de la Universidad Nacional llamado "Estudio Comparativo de la Posición de los Mojones de la Delimitación de la Frontera Norte según el Trazado de Alexander y según la Determinación en el Sistema WGS84". Describe su desarrollo en la primera etapa, en la cual se realizó un laborioso trabajo de adquisición de datos de las "Actas Alexander", fundamento del estudio comparativo propuesto.

LA FRONTERA NORTE DE COSTA RICA

Las fronteras internacionales y nacionales han sido siempre objeto de problemas, discusión, acuerdos, arbitrajes y enfrentamientos. En pocos casos, la delimitación (descripción literal o numérica de la frontera) y la demarcación (definición física de la frontera en el terreno) se producen simultáneamente y sin ambigüedades. Aunque los estadistas actúen con la mejor de las intenciones, la realidad es que las fronteras entre estados han sido siempre un motivo de dificultades entre los países vecinos; pueden darse problemas que van desde pequeños roces en aspectos administrativos, aduaneros o migratorios, hasta conflictos armados. Esta situación se cumple tanto para el caso de las fronteras naturales como para las artificiales, definidas en ambos casos por tratados, laudos y normas del derecho internacional público.

La frontera norte de Costa Rica queda definida en forma completa en el tratado Cañas-Jerez, del 15 de abril de 1858. Las discrepancias en la interpretación del texto del tratado por parte de los gobiernos de Costa Rica y Nicaragua condujeron a que en Guatemala y casi treinta años después, una Convención de Arbitraje solicitara el arbitramento del Presidente de los Estados Unidos. El Laudo Cleveland, del 22 de marzo de 1888, declara válido el tratado Cañas-Jerez y aclara en algo el derecho de navegación en el Río San Juan y otros puntos de dudosa interpretación del tratado. A pesar de esto y de lo acordado en Guatemala, es hasta el 26 de marzo de 1896 que se realiza la convención Matus-Pacheco para el trazado y amojonamiento de la frontera.

El trazado de Alexander, llamado de esta forma por el Ing. E. P. Alexander, encomendado por el gobierno de los Estados Unidos para dirigir los trabajos, comienza en mayo de 1897 y termina en julio de 1900. Este trazado es el que materializa la frontera norte, comenzando por un mojón astronómico en Punta de Castilla, continuando por la ribera del Río San Juan sin amojonarla, colocando el siguiente mojón a las tres millas de Castillo Viejo, siguiendo en forma paralela al río primero y al Lago de Nicaragua después, y terminando con el mojón XIX sobre el Río Sapoá y el XX para determinar la "recta astronómica" que une ese punto y el centro de la Bahía de Salinas. Sobre todos estos trabajos se dejaron actas, las "Actas Alexander", que relatan algunas de las dificultades presentadas en la ejecución de los trabajos.

El valioso trabajo del trazado de Alexander debe contemplarse como punto de partida para toda consideración sobre la frontera, por tener la aprobación por las partes, que fue inequívocamente expresada en el Artículo VIII del tratado Matus-Pacheco, ratificado por ambos países, y que dice textualmente:

"El Libro de Actas de las operaciones, que se llevará por triplicado, y que firmarán y sellarán debidamente los comisionados, será, sin necesidad de aprobación, ni de ninguna otra formalidad por parte de las repúblicas signatarias, el título de demarcación definitivo de sus límites".

Por lo expuesto, las "Actas Alexander" son la base jurídica y técnica de la demarcación de la frontera norte. Con la ejecución del proyecto se ha logrado contar con una depuración y sistematización de la información contenida en las actas y una clasificación de los mojones en diferentes categorías.

LOS DATOS ALEXANDER

Originalmente se consideró que por contener las actas los datos concernientes a los trabajos llamados en ellas "geodésicos", iba a ser posible darle coordenadas elipsóidicas a los puntos amojonados a partir de las astronómicas, factibles de ser comparadas con las coordenadas del mismo tipo generadas a partir de las mediciones GPS. A medida que se avanzaba con la extracción de datos de las actas, pudo determinarse que la información numérica relativa a los puntos tenía errores originales de medición o transcripción.

Las observaciones astronómicas iniciales en San Juan del Norte son las únicas descritas y que presentan resultados, por demás mediocres, como se reconoce en las mismas actas. De las observaciones vinculadas con la llamada "recta astronómica" sólo se tiene una ubicación aproximada, no hay descripción de la metodología empleada ni vínculo con las restantes estaciones. En el texto se señala que se hicieron observaciones astronómicas intermedias de orientación acimutal, pero no se dan datos de ningún tipo al respecto.

Las coordenadas de los mojones aparecen en tres tablas, pero cubriendo sólo a los principales, desde el II hasta el XX; los mojones auxiliares usados del XII en adelante, comenzando por el XIII y hasta el XXD, no tienen coordenadas en las tablas, en el texto ni en los croquis. Las mediciones realizadas a lo largo del Río San Juan y de la orilla sur del Lago de Nicaragua, junto a las de enlace con los mojones y la provisional de la "recta astronómica", en general, no se controlan en sí mismas, y aplicando otros métodos de control se detectan errores de medición o transcripción.

Como además de los problemas señalados, el número de puntos involucrados supera a los dos mil, se decidió invertir el proceso de transformación para efectos de comparación de coordenadas

de los puntos supuestos idénticos. En lugar de transformar los puntos de Alexander a un plano cartográfico se los mantuvo en un plano de referencia propio, definido por el par de coordenadas asignadas a cada punto, al que llamaremos plano Alexander. Esto se justifica por la forma en que se efectuaron las mediciones: en tramos cortos, usando distancias y ángulos horizontales, sin tener en cuenta la curvatura terrestre mediante reducciones geodésicas y sin considerar correcciones originadas en alguna proyección cartográfica.

LOS MÉTODOS Y CRITERIOS DE COMPARACIÓN

Dadas las características de los datos numéricos de las "Actas Alexander" en cuanto a exactitud, y principalmente confiabilidad, los métodos y criterios de comparación fueron ampliados, con los siguientes procesos y datos: comprobación interna mediante cálculo de poligonales e hiperpoligonales; aplicación del programa de ajuste geodésico ARGE-DOGO; determinación de coordenadas en el plano Alexander a partir de los croquis incluidos en las actas; toma de decisiones en casos confusos por comparación de las coordenadas Alexander obtenidas numéricamente y a partir de los gráficos; comparación de datos gráficos locales derivados de las actas con la cartografía oficial, con la finalidad de detectar errores en las actas o en la extracción de datos; consideración adicional de las coordenadas de los mojones principales y auxiliares determinadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) en el sistema Lambert Norte; ampliación de los criterios de comparación numérica con aspectos gráficos y estado de los mojones encontrados.

El objetivo principal del proyecto era la comparación de los datos "nuevos" (IGN de 1965, GPS de 2003) con los "viejos" de Alexander. La comparación entre el plano Alexander y el plano Lambert *no ofrece problemas desde el punto de vista angular*.

Lo que en principio podía dar problemas en esta comparación entre dos planos diferentes era la escala; en el plano Alexander se la puede suponer en el metro internacional y en la proyección Lambert se afectan las distancias observadas con un factor que depende de la ubicación en latitud, por

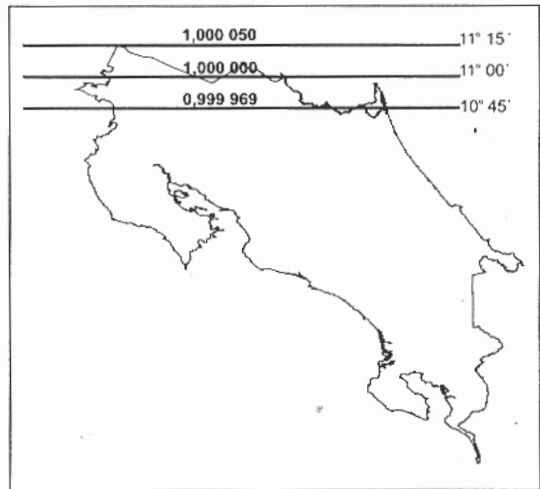


Figura 1. Factor de escala en el plano cartográfico Lambert.

ser una proyección cónica. Esto puede observarse en la figura 1, donde la zona fronteriza se ubica casi totalmente entre los paralelos de latitudes $10^{\circ}45'$ y $11^{\circ}15'$. Sobre la línea de los paralelos se encuentra el valor del factor de escala para la latitud correspondiente. El mayor factor de corrección por escala es de aproximadamente 1,000 050, es decir, unos 50 mm/1 km.

Las primeras transformaciones realizadas entre el plano Alexander y el plano Lambert Norte mostraron que los datos Alexander estaban afectados por errores muy por encima de la proclamada metodología geodésica (aún para la época), y que para aproximar un conjunto puntual al otro aplicando el principio de mínimos cuadrados, debían considerarse factores de escala con un valor que ronda por los 5 m/1 km. La relación entre los factores de escala es de aproximadamente 1:100, por lo cual es admisible realizar las comparaciones entre los planos Alexander y Lambert sin hacer ninguna reducción, la misma transformación de Helmert determina el valor más adecuado de la relación de escalas en cada caso.

LA EXTRACCIÓN DE DATOS DE LAS "ACTAS ALEXANDER"

Al formularse el proyecto se tenía conocimiento de que los originales de las "Actas

Alexander” se encontraban perdidos, tanto la versión costarricense como el ejemplar nicaragüense, pero que existía una copia en el Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto. Del material obtenido de RREE se realizaron fotocopias, que probablemente lo eran de cuarta o quinta generación, y se comenzó con la extracción de información, lo que fue imposible realizar en forma completa por las siguientes limitaciones: legibilidad dificultosa, en partes casi imposible; páginas que se encuentran fuera del orden original; los números del foliado original no aparecen en las copias, numeradas a mano en su parte inferior; necesidad de reconstruir el orden original basándose en los contenidos; falta de gran cantidad de páginas, 33 del primer tomo y 3 del segundo.

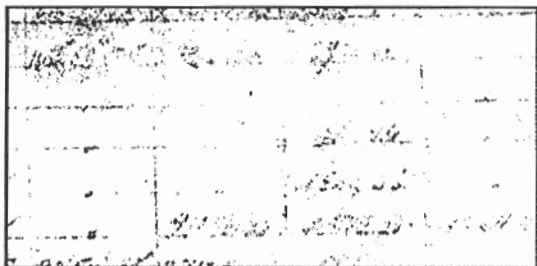


Figura 2. Detalle de cuadro en “Actas Alexander”, versión en fotocopia.

A pesar de estas dificultades, a medida que se avanzaba con el estudio del material, se iban realizando las extracciones de datos y los cálculos que en ese momento eran posibles, como por ejemplo las triangulaciones entre San Juan del Norte y Punta de Castilla, y los primeros tramos medidos río arriba a lo largo del San Juan por una combinación de poligonación y triangulación.

Como se tenía conocimiento de la existencia de una versión en el IGN, ésta se obtuvo en calidad de préstamo con la ayuda del anterior director del Instituto, el Ing. Fernando Mauro Rudín (†), al que dedicamos este trabajo.

En alguna época las páginas de las actas fueron microfilmadas, pero el microfilme no pudo ubicarse. Lo que se conserva es una reproducción fotográfica en papel de 20 cm por 25 cm que, por ser

los originales positivos, está en negativo. En muchos casos la legibilidad de este material es problemática, hay diferencias de intensidad y de contraste, y en todas las reproducciones se observan las cristalizaciones y rastros de hongos del microfilme original. En un intento por obtener la mejor información posible, se escanearon algunas páginas y se procesaron con un programa para pasar al negativo y así obtener escritura negra sobre fondo claro, pero los resultados no justificaron una aplicación para todas las páginas.

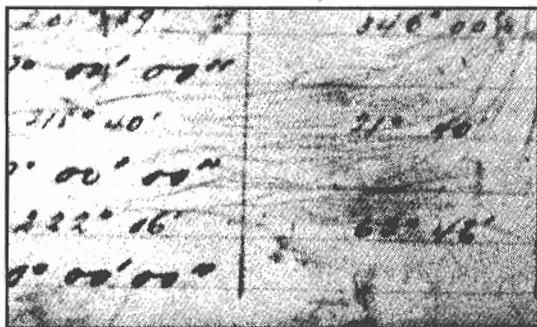


Figura 3. Detalle de cuadro en “Actas Alexander”, versión en microfilme.

Al cotejar el material del IGN con el de RREE se pudieron aclarar algunas dudas y complementar parcialmente la información, ya que las fotografías del IGN tampoco cubren en su totalidad las actas: faltan 66 del primer tomo y 2 del segundo. A pesar de que los faltantes se compensaban en gran parte al tener las dos variantes, siempre faltaban totalmente seis páginas, una con el croquis de los primeros mojones cercanos a “El Castillo” y las otras con cuadros de datos de levantamientos.

A comienzos del año 2002 se tenía un producto intermedio no previsto originalmente, un índice triple con la numeración de las páginas en el original, en el material de RREE y en el del IGN, con el contenido de cada página y la fecha de aprobación del acta correspondiente.

Ante estos hechos, se hizo notoria la imposibilidad de llevar el proyecto a un final exitoso si no se lograba contar con los originales de las actas. Como aparentemente el único ejemplar original se

encontraba en la Biblioteca del Congreso de los EE. UU. de América, se inició una campaña de búsqueda del original costarricense, hasta ubicar en el Instituto de Servicio Exterior "Manuel María Peralta", adscrito al Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto, los dos tomos que habían sido recuperados.

Ambos están completos, el primero en mejor estado y con sus 200 páginas ocupadas, el segundo con 62 páginas utilizadas, algunas difíciles de leer por la decoloración de la tinta y lo amarillento del papel. Tienen un formato de 12 x 16 pulgadas y por lo delicado del material se desarrolló un sistema de toma de fotografías con una cámara digital. Después de varias sesiones de prueba, se realizó la toma de las 262 páginas de las actas.

Las tomas originales fueron procesadas con diferentes programas de tratamiento de imágenes para uniformizar, en lo posible, la intensidad, el contraste, la coloración, la resolución y el tamaño de cada una de las fotografías. Se obtuvieron de esta manera 262 archivos en formato .jpg, con un tamaño de algo más de 2MB cada uno, que fueron grabados en un disco compacto junto al índice de las actas, una somera descripción del proyecto y detalles técnicos de las tomas.

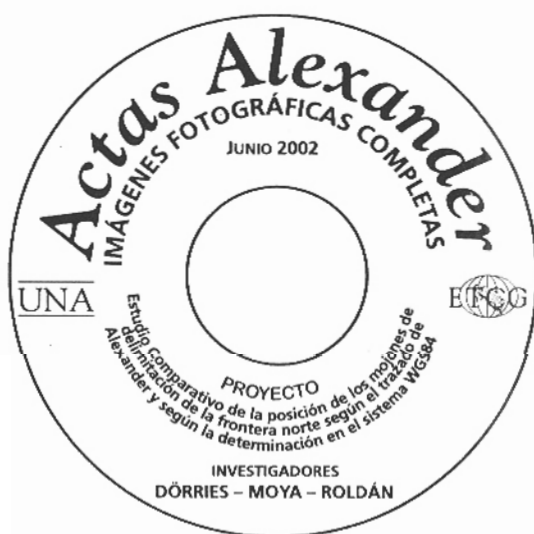


Figura 4. Etiqueta del disco compacto "Actas Alexander".

El disco compacto "Actas Alexander" está etiquetado y constituye un valiosísimo aporte para la clarificación de los antecedentes históricos, jurídicos y técnicos de la delimitación de la frontera norte.

DATOS FUENTES: NUMÉRICOS, GRÁFICOS Y LITERALES

Desde el punto de vista del proyecto, inicialmente los únicos datos a extraer de las "Actas Alexander" eran las coordenadas de los mojones instalados por la comisión de demarcación para compararlas con las medidas en el campo con metodología GPS. Sin embargo, hubo que tener en cuenta datos de mayor volumen y complejidad.

Las coordenadas utilizadas por la comisión se basaron en la convención astronómica que utiliza el sur como origen de las direcciones acimutales, dando lugar al sistema sur-oeste. Para evitar coordenadas negativas y disminuir el riesgo de confusiones en la elaboración, se les cambió el signo y se las afectó con un falso este y un falso norte de 500 km. Aunque las coordenadas de los mojones principales son las únicas que se encuentran tabuladas en las actas y no existen datos directos relativos a los mojones auxiliares, las actas contienen una voluminosa información de carácter numérico, por lo cual la extracción de esos datos y su aplicación para completar y comparar la información pasaron a ser imprescindibles.

La rica información gráfica contenida en las actas consiste en especial en los croquis que reflejan las sucesivas etapas de los levantamientos, supuestamente en concordancia con las tablas que contienen los datos numéricos. Como los problemas

Ángulos horizontales	Alineación	Distancias en metros
25° 22' 45"	"	"
227° 13' 00"	342° 52' 10"	295, 25
0° 00' 00"	"	"
173° 53' 10"	"	"

Figura 5. Detalle de cuadro en "Actas Alexander", versión del proyecto, fotografiada y en disco compacto.

de legibilidad no desaparecieron en su totalidad al contar con las actas originales, la constante comparación de la información numérica con la gráfica fue de gran ayuda para la toma de decisiones en el momento de asignar valores.

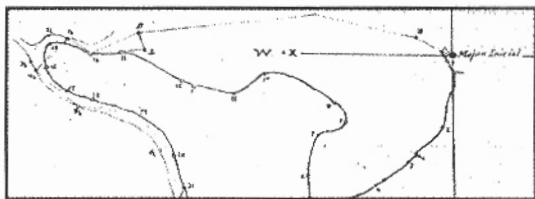


Figura 6. Detalle de croquis en "Actas Alexander", fotografiada y en disco compacto.

La información literal que se encuentra en las actas es de carácter muy variado, desde aspectos administrativos o protocolarios hasta los cinco laudos del general Alexander. Inmersos en esta amplia variedad de datos se encuentran algunos de relevancia para el desarrollo del proyecto. Se trata fundamentalmente de dos tipos de información: la que complementa las tablas y los croquis para determinar aspectos métricos, y las descripciones de trabajos efectuados. En esta última categoría se destaca la información relativa a los mojones, en especial su construcción efectiva y su tipo. Los mojones utilizados por la comisión comprenden las siguientes variantes: A de 3,25 m de altura, B de 2,25 m de altura, C de 1,15 m de altura, y la variante C+ de 1,50 m de altura y de la cual no hay croquis en las actas.

COMPROBACIÓN DE LOS DATOS NUMÉRICOS CON EXCEL®

Para la generación de una base de datos numérica que abarcara la totalidad de los más de dos mil puntos incorporados a las actas, se trasladaron los datos a libros Excel, una forma de crear una base de datos sencilla, pero con la capacidad de ordenar, filtrar y seleccionar elementos, además de ayudar en la preparación de los datos para la elaboración con el programa de ajuste geodésico ARGE. A medida que avanzaba esta actividad, fueron surgiendo problemas y contradicciones en los datos de las actas, que dieron lugar a una mayor aplicación de herramientas propias de Excel, com-

plementadas con otras medidas de control. De la hoja de cálculo como receptor o soporte de datos al inicio, se pasó a una hoja en la cual se recalculaban todos los incrementos en coordenadas y las coordenadas mismas, con fines de comparación respecto a lo leído en las actas. Este procedimiento de control de los datos originales permite detectar tanto errores de transcripción de eventuales libretas de campo a las actas por parte de la comisión, como errores de lectura por parte del proyecto. Sin embargo, su aplicación queda limitada a la parte angular, las distancias no pueden controlarse en los levantamientos posteriores a los del Río San Juan, ya que son muy pocas las coordenadas calculadas por Alexander.

APLICACIÓN DEL PROGRAMA DE AJUSTE GEODÉSICO ARGE-DOGO®

Aunque el sector fronterizo a lo largo del Río San Juan es el único donde las actas reportan con claridad una mayoría de datos respecto a la cantidad de incógnitas, el programa se continuó aplicando en los restantes sectores, en los cuales el control por este motivo no podía ser tan efectivo. De todos modos, las "Actas Alexander" presentan una peculiar característica: reúnen información numérica relativa a una gran cantidad de puntos y sus vínculos angulares y lineales, sin aclarar si se trata de datos de proyecto o de datos medidos, y en este segundo caso, si corresponden a mediciones originales de campo, o si son producto de un proceso adicional de comprobación y de compensación. Al usar el programa con datos procesados previamente se obtiene un cierre perfecto cuando no hay errores de transcripción, las varianzas de las observaciones son nulas a menos de errores de redondeo. Por lo mismo no se puede obtener información estocástica de los resultados, los datos de entrada ya no están afectados de los errores accidentales o casuales. Muy valiosa es la evaluación gráfica de los diferentes tramos medidos, que posibilita ARGE al tener la capacidad de generar gráficos en el formato propio del programa DesignCAD 3D MAX 14®, del cual se tiene una licencia vigente.

Una aplicación en la que se cifraban grandes esperanzas y expectativas era la de ajustar por "bucles", es decir, por figuras cerradas. La primera de ellas se forma cuando remontando el Río San

Juan se llega al sitio donde la frontera abandona la margen derecha del Río San Juan para continuar, en primera instancia, como un arco centrado en las fortificaciones de Castillo Viejo, algo difícil de materializar en el terreno. Del análisis de la figura, junto a la información numérica de tablas y fundamentalmente del texto, surgen una serie de dudas y dificultades, algunas factibles de aclarar, otras no. El mojón II se encuentra "frente" al punto 252b, que por pertenecer a la politriangulación por el río, tiene coordenadas Alexander. Queda indefinido el vínculo entre ambos puntos, situación que mejora en algo cuando en el principio del acta XVI, pág. 123, se expresa que entre el mojón y la estaca quedan 319,83 m, pero sin indicar la dirección.

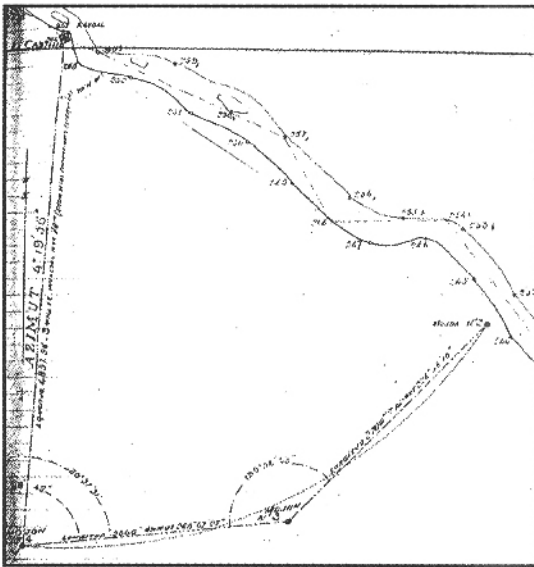


Figura 7. Detalle de croquis en "Actas Alexander", fotografiada y en disco compacto.

Antes de establecer estos vínculos, se intentó ajustar con ARGE el bucle abierto formado por la politriangulación por el río hasta el punto 254 en El Castillo, de ahí radialmente hasta el mojón IV, para continuar por la poligonal de frontera pasando por el mojón III y culminando en el mojón II. El resultado fue desconsolador, entre los dos puntos que se pretendía vincular, el mojón II y la estaca 252b, no se daba ni cerca la distancia de 319,83 m citada en el texto, sino que además el mojón II obtenía con este cálculo, controlado muchas veces,

coordenadas que discrepaban en cientos de metros de los valores contenidos en las tablas de las actas. Esta situación problemática se repitió en otras oportunidades, pero por ser la primera, y muy notoria, llevó a la aplicación de otras técnicas de control.

COMPROBACIÓN ESPECIAL DE DATOS NUMÉRICOS, ERRORES DETECTADOS

Teniendo en cuenta el evidente error interno de las actas detectado como se explicó en el punto anterior, faltaba lo más difícil, localizarlo. Sin tener los originales de las libretas de campo y sin poder repetir las mediciones es difícil, localizarlo cuando en un sistema de medición extendida se presentan dos o más errores, es casi imposible. Por eso se decidió recalcular a lo largo del San Juan pero sin considerar todos los puntos, utilizando aquéllos que están vinculados entre sí por lados de lo que hemos llamado una hiperpoligonal. Este control se hizo en primer lugar para el tramo 248 a 355, desde poco antes de Castillo Viejo hasta el Lago de Nicaragua, detectándose varias contradicciones internas. Como estos sorpresivos hallazgos hicieron temer que pudiera haber errores semejantes en los tramos anteriores del Río San Juan, se procedió a calcular la hiperpoligonal a lo largo de todo el trayecto, comprendiendo el subconjunto de vértices con categoría de hiperpuntos y las observaciones entre ellos. Éste se hizo directamente en una hoja de cálculo, en la que se presentan los errores como diferencias entre el valor asignado en las actas y el calculado. A lo largo de la hiperpoligonal, los "saltos" en las coordenadas se compensan en algunos casos y en otros se acumulan. Originados por diferencias notorias entre las coordenadas, producen finalmente diferencias de más de 50 m en Este y de más de 10 m en Norte. Este importante resultado del análisis de la hiperpoligonal por el Río San Juan permite confirmar la temida existencia de errores internos, propios de las actas, no debidos a problemas de legibilidad o lectura.

Una vez recalculados y graficados los numerosos datos depurados, se retomaron los cálculos en el bucle, y al contrario de lo esperado, los cálculos seguían sin cerrar. Este hecho originó una nueva investigación de los datos tabulados de los mojones, y se ubicó la fuente principal de error, una

permuta de los valores llamados en las actas coordenadas parciales, los incrementos en coordenadas. Además, existe una confusión respecto a las coordenadas del punto de referencia 248 y las del mojón II, lo cual repercute en todas las coordenadas posteriores, ya que cada par es calculado a partir del par de coordenadas anterior. Las diferencias entre valores corregidos y valores originales son de $-531,69$ en X y $531,69$ en Y, valores iguales en magnitud pero de signo contrario, debido al tipo de error cometido. Este error se propaga a todo lo largo de la poligonal fronteriza consignada en las "Actas Alexander", inclusive en el centro de la Bahía de Salinas. Por la gran trascendencia de estos resultados, nos adelantamos aquí a los análisis y conclusiones finales para afirmar que aunque la ubicación *relativa* de un hito principal respecto a otro hito principal es correcta, al ser errónea la ubicación *absoluta* en el plano Alexander, lo es también respecto a los restantes puntos, en concreto: *las coordenadas de los hitos principales tabuladas en las "Actas Alexander" son erróneas.*

EL MÉTODO DE "PIXELADO" PARA OBTENER COORDENADAS ALEXANDER

El método es muy simple y se basa en la proximidad de puntos con y sin coordenadas Alexander, estando los dos tipos en el mismo croquis. Como ejemplo analizaremos el caso del mojón XIII, cuyo croquis se encuentra a continuación.

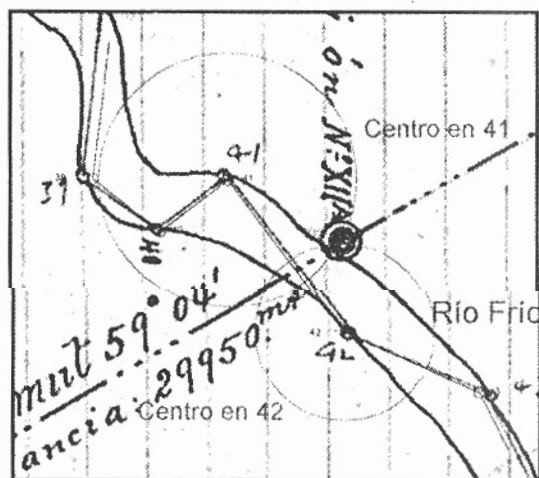


Figura 8. Detalle de croquis en las proximidades del punto XIII: el método de "pixelado".

Siguiendo el orden natural de los procesos de medición por parte de la Comisión Alexander, al llegar a San Carlos las mediciones se bifurcan: por un lado continúa una poligonal por la orilla del lago y hacia el sur inicia una poligonal que llega hasta Los Chiles, y que corta la línea fronteriza entre los mojones XII y XIII, por lo cual se decide colocar un mojón en las proximidades del río Frío. Como la poligonal medida tenía como objetivo determinar las dos millas de distancia al lago, lo técnicamente correcto, evidente y sencillo de realizar, era ubicar un punto sobre un lado de la poligonal que cumpliera con esa condición, o establecer un vínculo métrico entre los puntos poligonales, que tienen coordenadas, y el punto en que se construyó el mojón. Pero nada de eso se encuentra en las actas, en el texto ni en las tablas de la poligonal, es increíble, ni siquiera en el croquis cuyo detalle se ve en la figura 8.

La metodología llamada aquí de "pixelado" consiste en abrir el archivo de la página en que se encuentra el croquis de interés en un programa gráfico que use un formato raster. Un recorte del sector de interés y un zoom que lleve la imagen a tener un tamaño adecuado en pantalla permiten ubicar el cursor sobre los puntos notables, en el sencillo ejemplo visto aquí los puntos poligonales 41 y 42, y el mojón XIII, incluyendo como control la intersección entre el lado de la poligonal y la línea limítrofe. Para cada punto se obtienen las coordenadas en el sistema de pixeles, y como hay puntos idénticos (41 y 42) graficados a partir de sus coordenadas Alexander, se definen dos posibles procedimientos para darles coordenadas a los puntos del croquis de los cuales no se tiene información métrica.

La primera opción es la de una transformación semejante, modalidad que en teoría es la más rigurosa, pero si se considera la baja calidad de los croquis, aunque son croquis a escala, es factible usar un método más rápido y suficientemente exacto.

Como el destino de los puntos es el gráfico realizado en DCAD en el plano Alexander y en escala 1:1, pueden aprovecharse las capacidades de dibujo del programa. Así, por ejemplo, teniendo las coordenadas "pixeladas" de los puntos 41 y 42, y al contar con sus coordenadas "Alexander", puede calcularse una relación de escalas local, que variará en cada caso. Con ella y las distancias "pixeladas"

de los puntos 41 y 42 al mojón XIII A, se pueden calcular los radios de las dos circunferencias en cuya intersección se ubicará el punto correspondiente al mojón. Sus coordenadas se leen directamente con la ayuda del programa DCAD.

Además de la intersección de circunferencias, que cuando son más de dos no se cortarán estrictamente en un punto, esta forma de obtener coordenadas utiliza también la prolongación de líneas rectas, el trazado de paralelas y otras herramientas del dibujo asistido por computadora.

APLICACIÓN DEL MÉTODO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN CASOS CONFUSOS

La falta de datos numéricos relativos a los mojones auxiliares, la falta de vínculos entre puntos tabulados y no tabulados, la confusión en la nomenclatura de los puntos, las estaciones o mediciones astronómicas sin relación métrica con el resto de la estructura medida, las contradicciones y errores internos, y por fin, la crítica propagación de errores, conducen muchas veces a problemas de indeterminación en la información contenida en las actas. En muchos casos el método de "pixelado" permite obtener información adicional, que si bien no es muy exacta, en muchas ocasiones permite encontrar la o las fuentes de error.

La figura 9 es una fuerte reducción de la que muestra en las actas el camino a Sábalos, sobre el cual están los mojones XVIB y XVIC, citada para mostrar la aplicabilidad del método, inclusive cuando las distancias son grandes.

La poligonal que sale de Sábalos a orillas del Lago de Nicaragua recorre un camino en terreno llano. Después de la bifurcación que conduce a Liberia y a Cañitas, lo escarpado del terreno exige lados muy cortos en ambas poligonales, las que permitieron a la Comisión Alexander definir la ubicación de los mojones intermedios XVIB y XVIC. Puede asumirse que la línea que une los presuntos mojones, la que está más al sur, es la línea de frontera. Sin embargo, al graficar por primera vez los datos Alexander, distaba mucho más que en el gráfico de la o las líneas dadas por los mojones principales extremos, el XVI y el XVII. Con ayuda

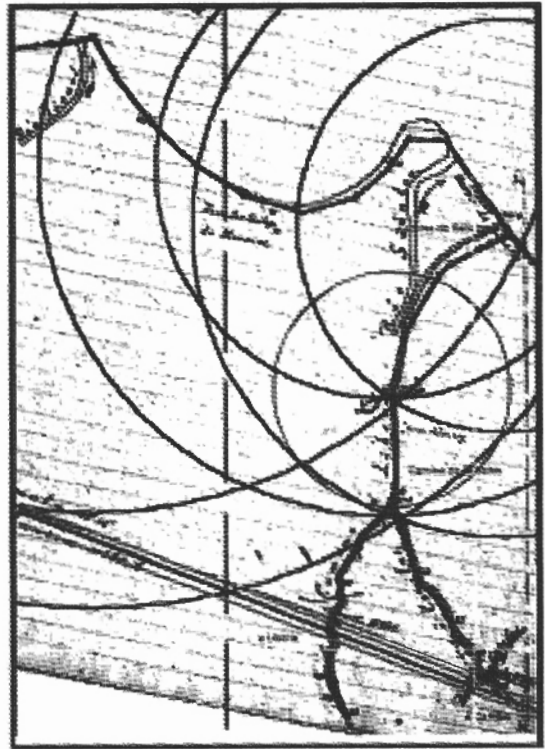


Figura 9. Aplicación del método de "pixelado" con distancias grandes.

del método de pixelado se lograron detectar varios errores en las actas, unos de carácter angular y otros de tipo lineal. Al recalcular el tramo, la línea se mantuvo paralela al trazado limítrofe, pero sin llegar a coincidir, debido a errores no detectables.

Antes de efectuar la corrección, los dos puntos del camino que se escogieron para efectuar el control caían fuera de la figura formada por los arcos de circunferencia con centro en puntos de referencia. A pesar de las grandes distancias y de la necesidad de rotación de la imagen, posteriormente a la corrección de los errores detectados en las actas, los puntos de la poligonal pasaron a tener una ubicación correcta. De esta forma, a pesar de tener como fuente de información numérica la de poligonales abiertas sin control, la buena representación gráfica en los croquis y el método empleado, permitieron efectuar controles que detectaron una importante cantidad de errores de cálculo, de transcripción o de lectura de las actas.

INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN A LOS GRÁFICOS DCAD

Las "Actas Alexander" suministran información para la ubicación de puntos en otras variantes diferentes a las vistas. Por un lado, se encuentra la información numérica que está escrita en los mismos croquis, generalmente cuando se trata de distancias pequeñas que no pueden ser representadas a escala. Además, los croquis dan otro tipo de información de importancia, que permite establecer vínculos entre elementos, por ejemplo, que la línea de frontera pasa por cierta estaca de la poligonal, dada por su número. Como la poligonal de vínculo tiene coordenadas y está graficada, este dato permite un control de ubicación. Existe información complementaria que está en los textos, casi se podría decir que en forma oculta, que en algunos casos resulta fundamental. No siempre es numérica, puede ser, por ejemplo, el tipo de mojón. La variedad de fuentes de información condujo al dibujo de varios croquis, de tal forma que reunieran todos los datos referentes a los vértices de la poligonal fronteriza.

En la figura 10 se tiene información de las tablas de la poligonal, directa del croquis y del texto, en las cuales se hace referencia a que el lado XI-XII pasa por la estaca MQ3, sobre el Caño Medio Queso, además, varias distancias "pixeladas". Estas distancias, junto a la del texto y los croquis, permiten inclinar la balanza a favor de la posición del mojón XII que se encuentra al oeste. Nuevamente se ha detectado un *serio error en las actas*, y nada menos que en las tablas de acimutes sucesivos, distancias y coordenadas. El error está

en el acimut, probablemente de diseño, que no fue corregido en el momento de la ubicación efectiva del monumento en el campo. La distancia entre ambas posiciones es nada despreciable: 844 m.

La información reunida en estos croquis permitió su ingreso en los gráficos generados con ARGE y complementar así la existente en los cuadros de las actas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, E. P. 1900. *Actas Alexander*, sin publicar, tres originales en EE. UU. de América, Nicaragua y Costa Rica.
- Dörries, E. y J. Roldán. 1999. *Estudio comparativo del datum geodésico de Ocotepeque y el datum satelitario del sistema WGS84*. Informe final de proyecto de investigación. Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Núñez-García, A., J. L. Valbuena y J. Velasco. 1992. *GPS: La nueva era de la topografía*. Ediciones de las Ciencias Sociales. Madrid, España. 236 p.
- Seeber, G. 1993. *Satellitengeodäsie*. Walter de Gruyter. Berlín, Alemania. 531 p.

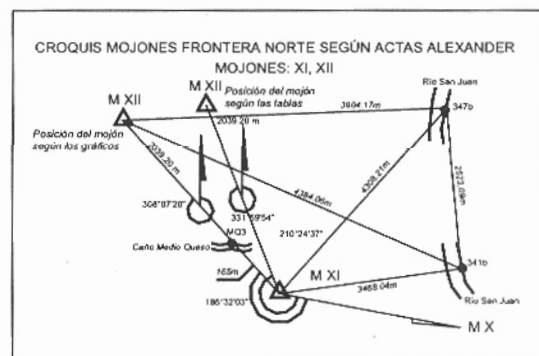


Figura 10. Ejemplo de croquis de mojones.

TRATADOS DE REFERENCIA

LUGAR	FECHA	DOCUMENTO	SITUACIÓN
Managua	06/07/1857	Tratado Cañas-Juárez	No ratificado
Rivas	08/12/1857	Tratado Cañas-Martínez	No ratificado
San José	15/04/1858	Tratado Cañas-Jerez	Ratificado
Granada	05/02/1883	Tratado Álvarez-Zambrana	No ratificado por CR
San José	19/01/1884	Tratado Navas-Castro	No ratificado por CR
Guatemala	24/12/1886	Convención Arbitral Román-Esquivel	Ratificada
Washington	22/03/1888	Laudo Cleveland	Tratado
Managua	23/12/1890	Tratado Guerra-Castro	No ratificado por CR
San Salvador	27/03/1896	Convención Matus-Pacheco	Ratificada
San Juan del Norte	30/09/1897	Laudo Alexander Nº 1	En Libro de Actas
San Juan del Norte	20/12/1897	Laudo Alexander Nº 2	En Libro de Actas
San Juan del Norte	22/03/1898	Laudo Alexander Nº 3	En Libro de Actas
San Juan del Norte	26/07/1899	Laudo Alexander Nº 4	En Libro de Actas
San Juan del Norte	26/07/1899	Award #4 (Laudo Alexander)	Publicado en inglés
Nueva York	10/03/1900	Laudo Alexander Nº 5	En Libro de Actas
