

Todos los días se trazaba la parte que creíamos poder medir, valiéndonos del teodolito para alinear piquetes de 60 en 60 metros, exactamente en la dirección determinada por los extremos de cada segmento de la base. De un piquete al siguiente se ataba fuertemente un cordel para marcar la dirección de la línea, á fin de que los criados encargados de colocar los tripiés, no se alejasen mucho de ella y se perdiese mas tiempo al alinear las reglas. El trabajo se dividió de esta manera: siguiendo siempre la arista entera de las reglas, el Sr. Herrera dirigia el alineamiento de cada una que hacia el Sr. Fernandez, valiéndose de los tornillos destinados al efecto y teniendo cuidado de establecer las reglas á una pequeña distancia una de otra, y especialmente de la primera, para impedir que hubiese entre ellas un choque que podia dar por resultado un retroceso de la que señalaba el punto extremo de la estacion precedente. Luego que todo el aparato estaba bien alineado, el Sr. Iglesias, que tambien estaba encargado de vigilar la colocacion de las reglas, establecia el contacto de sus extremos por medio de los tornillos que comunican los movimientos longitudinales. En seguida yo media con clisímetro la inclinacion de cada regla, así como la temperatura que indicaba el termómetro unido al aparato, y protegido de los rayos directos del sol, anotando estos datos en el registro correspondiente, así como el número con que estaba marcada cada regla para evitar equivocaciones.

No podria yo dar á V. E. una idea bastante exacta de lo tedioso y dilatado de una operacion tan larga como minuciosa y monótona, idea que solo han podido formarse las personas que por curiosidad ó interés científico, han venido algunas veces á presenciar los progresos de la medida. Básteme decir á V. E., que la circunstancia de haber trabajado en un camino público y muy concurrido, vino á aumentar las dificultades inherentes á la operacion misma, pues el paso continuo de carros y animales de toda especie, levantaban nubes de polvo tan densas, que impedian á veces el alineamiento de las reglas, viéndonos á cada paso en peligro de perder el trabajo del día, por algun choque que recibiese el aparato. Pero lo que causó mas incomodidades, fué el tránsito frecuente de tropas, especialmente en los últimos días, porque la soldadesca, que no respetaba mas que las insignias militares, ó la fuerza armada, nos esponia sin cesar á los efectos de su curiosidad impertinente ó nos hacia el blanco de sus insolentes dicerios.

Durante los primeros días la medida adelantaba con bastante lentitud, pero muy pronto se dieron á conocer los buenos resultados de la division sistemada del trabajo, pues cada uno familiarizado con la operacion que le estaba encomendada, podia proceder con mas violencia, y así, mientras el primer día solo se avanzó cerca de 80 metros, en los últimos se median de 400 á 500 y á veces mas. Para señalar el punto en que se terminaba cada día, se han usado estacas de encino 0<sup>m</sup>5 de largo y 0<sup>m</sup>08 de grueso terminadas por puntas ó casquillos de hierro, en su cara superior estaba practicada una abertura cilíndrica que se llenaba de cera, de suerte que clavada fuertemente la estaca de manera que su cara superior quedase al nivel del suelo, podia proyectarse sobre ella el extremo de la última regla, valiéndose de una peque-

ña plomada con punta de marfil pendiente de un hilo muy ténue de platina, y haciendo varias esperiencias para asegurarse de que la plomada correspondia siempre al mismo punto que permanecia marcado sobre la cera. Para proteger las estacas de cualquier accidente se tenia cuidado de cubrirlas estableciendo al derredor un monton de piedras, y para mayor seguridad se dejaron algunas como puntos de rectificacion en los extremos de cada uno de los segmentos en que se dividió la línea.

Daré á conocer ahora á V. E. el resultado final de la medida así practicada. Las correcciones que deben hacerse al valor que se obtiene por el número de reglas colocadas en toda la estension de la base, son: 1.ª reduccion de la longitud del aparato á la temperatura media que se obtuvo durante la medida, y que fué 19<sup>o</sup>6 centígrados: 2.ª reduccion de cada regla al horizonte, para lo cual se hace uso de los ángulos de inclinacion medidos con el clisímetro: 3.ª reduccion á la línea recta, habiéndose medido la base en línea quebrada, como se dijo al principio: 4.ª reduccion al nivel del mar: 5.ª correccion del espesor de los monumentos. Haciendo todos los cálculos se obtienen los números siguientes:

Longitud del aparato á cero de temperatura.....	20. <sup>m</sup> 55. 134
Número de estaciones que contiene la base.....	42063940
Producto.....	8644. <sup>m</sup> 703
Reduccion á la temperatura media.....	+0. 712
Suma de las reducciones al horizonte.....	-0. 334
" " " " á la línea recta.....	-0. 021
Reduccion al nivel del mar.....	-0. 063
" " " " al eje de los monumentos.....	+0. 962
Longitud de la base al nivel del mar.....	8642. <sup>m</sup> 96

Por temor de alguna equivocacion al consignar en el registro el número de estaciones medidas, encargué al Sr. Iglesias que hiciese una triangulacion á lo largo de la línea, apoyándose en una base pequeña de poco menos de dos mil metros á fin de conocer de esta manera la distancia aproximada entre ambos monumentos. Se ejecutó así en efecto, y el valor que resulta de la operacion trigonométrica, es: 8642.<sup>m</sup>76 de suerte que se puede estar seguro de que no ha habido equivocacion alguna.

Será ahora muy interesante calcular cuál puede ser el mayor error que tenga la base en cuanto depende tanto del valor adoptado para la longitud del aparato, cuanto de los demas elementos que se deducen de la manera de operar en el terreno. Para lo primero puede tomarse por punto de partida la mayor diferencia que exista en una de las comparaciones aisladas de las reglas, y el valor medio que se admitió, pues aunque sea un hecho constante que la repetición de esperiencias conduce siempre á promedios mas ó menos independientes de los errores fortuitos, y por

consiguiente casi idénticos, deberé considerar aquí el caso mas desfavorable, suponiendo que uno de los valores extremos tiene mayor grado de probabilidad que el resultado medio. Con respecto á los errores que dependen del modo de operar, se les podrá atribuir un valor estimativo deducido del grado de aproximacion de los instrumentos y de la manera con que estos errores deben figurar en las fórmulas ó métodos de cálculos, admitiendo ademas que se han cometido en todas las operaciones.

Hay cierta clase de errores que jamás pueden producir compensacion, pues se repiten siempre en el mismo sentido, tendiendo á aumentar ó disminuir el valor que se busca: entre estos figuran los de la longitud del aparato, los de reduccion al horizonte y los de alineamiento. Otros, por el contrario, son unas veces aditivos, y otras sustractivos, de suerte que si no se destruyen completamente, por lo menos el análisis enseña que su influencia en el resultado final, es solamente proporcional á la raíz cuadrada del número de veces que pueden cometerse. A esta clase pertenecen los errores de los contactos de las reglas que pueden ser mas ó menos forzados, y tambien el error que se tenga al terminar la medida de cada día. De las 24 medidas que se hicieron de la regla que se tomó por unidad para comparar las demas, la mayor diferencia entre el resultado medio admitido y el que mas se aleja de este, llega  $0.00006$ . Combinando con este número las mayores diferencias obtenidas en la comparacion de las otras reglas, encuentro que suponiendo que todos los errores máximos obrasen en el mismo sentido, la longitud del aparato diferiría  $0.00046$  del valor adoptado, lo que produciría en la base una diferencia de  $0.194$ .

La inclinacion de las reglas fué generalmente muy pequeña, pues pocas veces llegaba á un grado; y solo en dos ó tres casos escedió de  $2^\circ$ ; mas suponiéndola de  $1^\circ$  en término medio, y admitiendo en las lecturas del clisímetro una incertidumbre de  $1'$ , el error que resulta en la reduccion al horizonte es  $0.00002$  por regla general, lo que produce  $0.044$  en la base.

La manera de alinear las reglas no creo que pueda producir error sensible, teniendo á cada paso la comprobacion, no solo de los piquetes sino del cordel establecido entre cada dos de ellos; pero suponiendo sin embargo, que el aparato se desviase de la línea recta una cantidad igual al espesor de cada regla. El cálculo aplicado á esta hipótesis da  $0.00006$  por estacion, lo que supone en la base un error de  $0.025$ .

En los contactos de las reglas, puede admitirse una incertidumbre de  $0.0001$  por regla general, lo que originaría  $0.004$  en el resultado.

Finalmente, el error al terminar cada día la operacion, no puede esceder de  $0.001$  y esta cantidad produciría en toda la línea  $0.006$ . En cuanto á las correcciones que provienen de los cálculos, es claro que puede suponerseles constantes.

Es ciertamente muy difícil que los errores lleguen á los límites que les he asignado, y lo es mucho mas que todos ellos tiendan á obrar en el mismo sentido; pero aun en este caso que es el mas desfavorable que puede admitirse, resultará:

Error que puede provenir de la longitud del aparato.....	$0.194$
Id. id de la reduccion al horizonte.....	$0.044$
“ “ del alineamiento.....	$0.025$
“ “ de los contactos.....	$0.004$
“ “ del término diario.....	$0.006$
Suma de los errores.....	$0.27$

Todas las consideraciones que preceden me inducen á creer que el error de la base no es probable que llegue á  $0.2$  por lo menos en la suposicion de que el aparato-comparador represente exactamente el metro á la temperatura normal, y que no haya algun vicio constante en el modo de comparar, lo que parece garantizar la concordancia que hemos obtenido en la determinacion del coeficiente de dilatacion de la madera. Por otra parte, el tramo de 800 metros que se habia medido usando estacas, se rectificó despues que adopté los tripiés, y hechas todas las reducciones, la diferencia de las dos medidas no llega á  $0.005$  lo que proporcionalmente produciría en toda la línea una incertidumbre de  $0.06$ .

Tal ha sido en resumen, Exmo. Sr., la série de operaciones ejecutadas para medir la primera línea que se valía en nuestro pais, por procedimientos geodésicos. La comision se lisonjea de que las personas inteligentes que conozcan los trabajos del mismo género practicados en otras naciones, y tambien las dificultades con que se tropieza en México para la construccion de instrumentos de cierta precision, convendran en que si nuestra base deja algo que desear, es suficientemente exacta para establecer la cadena trigonométrica del Valle, y que la comision ha sacado el mejor partido posible de los medios de accion que estaban á su alcance.—F. Diaz C.

Hasta aquí la memoria.

El azimut astronómico de la base, segun el resultado final de los cálculos de Diaz,  $-58^\circ 43' 58'' 2$  SE.

Iglesias, que ayudó en la medida de la base, se dedicó á formar la triangulacion geodésica. El instrumento de que usaba era un altázimut de Troughton & Simms, de doce pulgadas inglesas de diámetro: da los ángulos horizontales por medio de tres nónius con una aproximacion de  $10''$ , y los verticales con la de  $1''$ , por dos microscopios micrométricos, invencion la mas perfecta para apreciar las fracciones: el antejo es magnífico, pues las señales colocadas en los vértices de los triángulos, y que consistian en banderolas blancas y rojas de dos metros de ancho por dos de largo, podian ser percibidas con bastante claridad, en condiciones favorables de luz, á mas de siete leguas de distancia. La retícula del instrumento estaba formada por cinco hilos horizontales y cinco verticales casi equidistantes, con un intervalo de  $4' 30''$  por término medio.

El método seguido en las observaciones era tan sencillo como exacto; nivelado con precision el instrumento por medio de los niveles, sumamente sensibles pues un milimetro de desviacion en la burbuja correspondia á un segundo de inclinacion

en el eje, se dirigian visuales á cada una de las señales con tres de los hilos de la reticula, el central y los dos laterales próximos, leyendo en los nónius la graduacion correspondiente, y en los micrómetros las respectivas á las alturas ó distancias zenitales: hecha esta observacion directa, se invertia el antejo del instrumento y se repetia, llamando á esta segunda, operacion inversa. De esta manera quedaba destruido en ellas el error de colimacion, que aunque ninguno se habia notado, pudiera acontecer que verificado un cambio en la posicion de la reticula, se produjeran errores considerables en los ángulos.

Ocho triángulos geodésicos conformó Iglesias con la precision que acabamos de indicar. Los dos extremos de la base y la cima del cerro de la Estrella ó de Itztapalapa, formaron el primero casi equilátero: el error en los tres ángulos es de 16" incluyendo el esceso esférico. Desde el cerro de Itztapalapa se dirigieron visuales para situar por intersecciones los pueblos que se encuentran al Sur, como Chalco, Xochimilco, Tlalpam, Tlahuac, &c., y lo mismo se verificaba constantemente en cada vértice. Se formó el segundo triángulo con el extremo occidental de la base, el cerro de Itztapalapa y el de Chimalhuacan; los lados tienen una longitud de quince mil metros, y los errores angulares no pasan de 15". Los dos últimos puntos y la cruz de la torre oriental de la Catedral de México, forman el tercer triángulo; los errores en los ángulos son de 14". El cerro de Xico, centro de la laguna de Chalco, con los cerros de Itztapalapa y de Chimalhuacan, dan otro; los lados miden 17000 metros, y el error en los tres ángulos son 14". La Catedral unida á Chimalhuacan y al cerro de Cuauhtepac ó de la Aguila, forma el quinto triángulo; los lados son de 18 y 19 mil metros. Chimalhuacan y Cuauhtepac forman con Tetzococo (iglesia de San Francisco) por la una parte, y con los cerros de Tlalticahuacan por la otra, dos triángulos; los lados llegan á 27000 metros, y el valor del esceso esférico es de un segundo y segundo y medio. Tetzococo y Cuauhtepac, con el creston de Chiconautla, forman el último triángulo, quedando enlazado con la triangulacion el pueblo de Cuautitlan, el cerro del Cincoque y otros del N. del Valle.

De los ocho triángulos hay dos en que el error es por esceso y seis en que es por defecto; la suma de los primeros es +51"8 y la de los segundos -73", así es que el valor numérico del error medio de aquellos es +5"2 y el de estos -0"88.

Mientras Iglesias efectuaba el trabajo geodésico, Almaraz y Santa Maria desarrollaban la triangulacion de segundo orden, partiendo de las bases que inspiraban con fianza, y enlazándola con varios lados de la del Distrito, encadenada á su vez con la base geodésica con el fin de formar el plano del lago de Tetzococo, estendiéndose al menos una legua fuera de sus orillas; para detallar el trabajo cuanto fuera posible, se notaban los accidentes y puntos notables del terreno por muchas intersecciones desde los vértices trigonométricos, es decir, por medio de triángulos, en los cuales se observaban cuidadosamente dos ángulos: deduciendo el tercero, se seguia el curso de los rios, canales, diques, caminos, &c., por puntos situados con rumbos observados con una buena brújula inglesa. Así se determinó el perimetro del lago y las alturas de los cerros contenidos en el campo de operaciones.

En nuestros datos copiamos en primer lugar los de la triangulacion geodésica y en seguida los del Distrito, pues si bien estos trabajos no pertenecen á la segunda comision, entraron en la carta hidrográfica, y con ella están relacionados. Para comenzar las operaciones del Distrito, digimos antes que se habia medido una base, mas sin entrar en pormenores, ahora añadiremos algunas palabras. La repetida base quedó fijada en los llanos de Aragon, colocándose la de rectificacion en el rancho de la Viga. La primera se midió con un decámetro de acero, á la tension de doce libras en cada extremo, y dió llamando *l* la longitud del resorte que se decia decámetro.

	Resortes.	
Por la primera medida.....	247	449 × <i>l</i>
Por la segunda ".....	247	457 × <i>l</i>

Por la comparacion del resorte con el metro modelo de laton del Ministerio de Fomento, antes y despues de la medida de la base, resultó la longitud del resorte de 9.<sup>m</sup>9955, así es que las medidas resultan:

Primera.....	2473. <sup>m</sup> 376
Segunda.....	2473, 456
Diferencia.....	0. <sup>m</sup> 080

Será, pues, el término medio 2473.<sup>m</sup>416.

Se redujo al nivel del mar, antes de entrar en el cálculo, multiplicándola por

$\frac{N}{N+h}$

$$h = 2261^m$$

$$\text{Long.} \frac{N}{N+h} = 9.9998460$$

De manera que la base reducida al nivel del mar es igual á 2472.<sup>m</sup>540

La segunda base fué medida tambien con un resorte de acero, á la misma tension de doce libras en cada extremo, y dió:

	Resortes.	
Primera medida.....	299	560 × <i>l</i>
Segunda medida.....	299	568 × <i>l</i>

La comparacion con el metro modelo dió para la del resorte 9.<sup>m</sup>9915=1; luego tendremos

Para la primera medida.....	2993. <sup>m</sup> 054
Para la segunda.....	2993, 133

$$\text{Diferencia.....} \quad 0.<sup>m</sup> 079$$

Reducida al nivel del mar es igual á 2992<sup>m</sup> 032, y calculada la triangulacion con la primera base resulta para ésta 2992<sup>m</sup> 49.

Para orientar la triangulacion se observó el azimut astronómico del Peñon de los Baños al observatorio de San Lázaro, y resultó en este punto de San Lázaro, por un promedio de 169 observaciones—108° 28' 14" 7, contando los azimutes del Sur al Oriente negativos, y al contrario.

De cuarenta y dos triángulos en que se han tomado los tres ángulos en la triangulacion del Distrito, observa Diaz Covarrubias que hay 21 en que el error fué en *mas* y 21 en que fué en *menos*; el error positivo medio por ángulo es +1" 68, y el medio negativo —1" 85. Los errores fueron corregidos por partes iguales en cada ángulo.

Los elementos adoptados en los cálculos son los del célebre astrónomo Bessel, en su discusion sobre la forma de la tierra, adoptados hoy como los mas probables.

Prosiguiendo nuestra interrumpida narracion, diremos: que la manera pronta y exacta de Almaraz en la ejecucion de sus trabajos, le permitió concluirlos en cosa de dos meses, levantando el plano de una considerable estension de terreno. Cerró su triangulacion con la que Santa María habia llevado por el E. hasta los cerros de Chimalhuacan, resultando pequeños errores contenidos dentro de los limites de los tolerables, y atendida tambien la distancia recorrida; la red consta de 46 triángulos, cuyos tres ángulos fueron observados por lo menos seis veces con buenos teodolitos ingleses, no encontrándose en la suma de los que forman el triángulo un error que llegue á 20".

Ocupado Almaraz en obras del Ministerio, volvió al campo despues de algunos dias, para formar el plano de los canales que derraman las aguas del lago de Xochimilco en el de Tetzoco, haciendo estudios especiales sobre cada uno de ellos, y tomando por limite hácia el S. la calzada de Itztapalapa, mientras Santa María los continuaba por el lago de Chalco.

A fin de dar mayor impulso á los trabajos topográficos, Iglesias suspendió los geodésicos y vino á enlazar otros nuevos con los de Almaraz. Tomó por base el lado de la triangulacion del Distrito—Mexicaltzinco y cerro de Itztapalapa—y por espacio de dos meses trabajó en aquel campo, llegando hasta los pueblos de Xochimilco y de Tepepa por el S., por el E. al cerro de San Nicolás y hacienda del mismo nombre, quedando por limite al O. el camino que de México conduce á Tlalpam, y el que de aquí parte para Cuernavaca. Avanzaban las operaciones y la triangulacion constaba ya de 27 triángulos, cuando fué preciso interrumpir los trabajos por haberse turbado la tranquilidad pública en el Valle.

Entonces Iglesias abandonó el S. y vino al N. á reunirse con Almaraz. Juntos levantaron el plano de los lagos de San Cristóbal y de Xaltocan, tomando por limites al E. desde el cerro de Chiconautla y las faldas de los de San Miguel hasta el de Paula; por el N. los pueblos de Tizayuca y de San Bartolo, llegando al S. hasta la sierra de Guadalupe para ligar el cerro de Cuauhtepac. Prosiguieron al O. con el lago y poblacion de Zumpango con sus anexos, hasta los pueblos de Cuevas y Xilcingo al N., distantes de Zumpango mas de una legua. Al O. la triangulacion tenia

por vértices los pueblos de Cuautitlan, Zapotlan, Coyotepec, Teoloyuca y Huehuetoca, en cuyo último punto se hallaba el vértice final al terminar Enero de 1862. En adelante Iglesias llevó la triangulacion por todo el canal del desagüe hasta la hacienda del Salto, último punto de la carta por aquel rumbo, mientras Almaraz formaba los detalles del terreno, con la pericia y la exactitud que constituyen su especialidad de trabajo. Luego que el rio del desagüe sale del tajo de Nochistongo, corre por una cañada entre dos series de alturas, con direccion casi paralela. Almaraz por medio de una buena brújula de Troughton y Simms, situó varios puntos del rio y los principales accidentes del terreno, tomando los rumbos de las líneas de mayor y menor pendiente y los ángulos de altura de los puntos principales, todo ello referido á la triangulacion, y configurando á la vista siguiendo las inflexiones que el terreno ofrece.

Terminada esta operacion, Almaraz volvió al Sur á concluir la triangulacion de Chalco, interrumpida por la separacion de Santa María; mas estorbándosele la presencia de algunas partidas armadas, tuvo que dejar el campo y volver al Norte. Entonces se ocupó en formar los sondeos del lago de San Cristóbal, en el cual observó cuarenta y tres puntos y la naturaleza del fondo: el de aquel vaso está compuesto de roca descubierta á veces, pero en lo general oculta por la capa de limo depositado por las aguas, presentando un piso sólido que se puede atravesar á caballo sin peligro habiendo poco líquido.

Seguió el sondeo del lago de Xaltocan. Era el mes de Marzo, y las aguas se habian agotado de tal manera, que Almaraz pudo atravesar á pié enjuto desde Santa Inés hasta Tonanitla, sin encontrar mas de un pequeño charco hácia San Pablo, con tan corta profundidad, que el pasto nacido en el fondo asomaba sobre la superficie del líquido; entre Tonanitla y Xaltocan se hallaba otro charco en condiciones iguales al anterior, y solo al N. de Xaltocan habia una porcion algo considerable de agua, cuya altura no pasaba en los lugares mas profundos de 0<sup>m</sup> 12.

En el lago de Zumpango quedaron observados mas de treinta puntos, encontrándose el fondo de un barro negro que hace el vaso sumamente atascoso. Referidas las sondas á la nivelacion general, en principios de Abril, pasó Almaraz á ejecutar los trabajos análogos en Tetzoco, en donde tuvo que luchar con varios géneros de dificultades y principalmente con las rápidas mutaciones del lago, para lograr referir sus observaciones á un mismo plano horizontal: estos obstáculos desaparecieron en los recipientes de Chalco y de Xochimilco. Acabadas estas labores partió el ingeniero para el campo á concluir la parte topográfica que aun faltaba en las cercanías de Chalco; operacion tantas veces interrumpida y que hasta ahora pudo llevarse completamente á cabo.

Dada una somera noticia de la manera con que los trabajos fueron hechos, tiempo es ya de llegar á los resultados obtenidos. Comenzaremos por la declinacion de la aguja. El ingeniero Iglesias, que practicó sus observaciones con un tránsito americano, obtuvo en 1862 una declinacion E de 8° 34' 50."