

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 77 (1985)
Heft: 5-6

Artikel: Vermessungstechnische Dienstleistungen am Beispiel des
Wasserkraftwerkes El Cajon, Honduras = Prestations techniques de la
mensuration sur l'exemple de la centrale hydro-électrique d'El Cajon,
Honduras = Geodetic survey services described with reference...

Autor: Bélat, René / Haag, René
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940929>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Vermessungs- technische Dienstleistungen am Beispiel des Wasserkraftwerkes El Cajón, Honduras

René Bélat und René Haag

Zusammenfassung

Die Staumauer El Cajón in Honduras ist mit 238 m Höhe die höchste Bogenmauer auf dem amerikanischen Kontinent. Die Bauarbeiten wurden 1984 grösstenteils abgeschlossen; mit der Stromproduktion der 300 MW-Anlage wird 1985 begonnen. Die Straub AG war im Rahmen der Bauleitung der Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG für die vermessungstechnische Abwicklung des Projektes verantwortlich. Von den Studien bis zur Betriebsphase wurden dabei alle Vermessungsarbeiten überwacht und zum Teil auch selber ausgeführt oder ausgewertet. Das vorgestellte Beispiel zeigt, dass auf Grossbaustellen nicht nur die klassische Geodäsie, sondern auch eine ganze Palette moderner Methoden wie Echolotaufnahmen im Flussbett und terrestrische Photogrammetrie zur Anwendung kommen. Auch für die Resultatdarstellung der Deformationsmessung wurden neue Methoden gewählt.

1. Grundlagentnetz und Planerstellung

Ein einfaches Grundlagentnetz und Pläne 1:500 und 1:2000 waren in den siebziger Jahren erstellt worden. Das lokale geodätische Netz wurde während der Studien und der Bauzeit kontinuierlich erweitert und den Bedürfnissen angepasst. Eine gezielte Erweiterung wurde 1982 für die Bauabsteking der Mauer nötig. A-priori-Berechnungen erlaubten dabei die optimale Ergänzung des Pfeilernetzes. 1984 bestand das Netz aus 40 Beobachtungspfeilern. Jährliche, von der Bauleitung durchgeführte Kontrollmessungen des Gesamtnetzes erlauben eine stetige Überwachung und das Erkennen von lokalen Rutschungen und Setzungen. Das Grundlagent-

Bild 1. Staumauer El Cajón im Bau (März 1984).

Figure 1. Barrage d'El Cajón en cours de construction (mars 1984).

Figure 1. Construction of the El Cajón dam in progress (March 1984).

Prestations techniques de la mensuration sur l'exemple de la centrale hydro-électrique d'El Cajón, Honduras

René Bélat et René Haag

Résumé

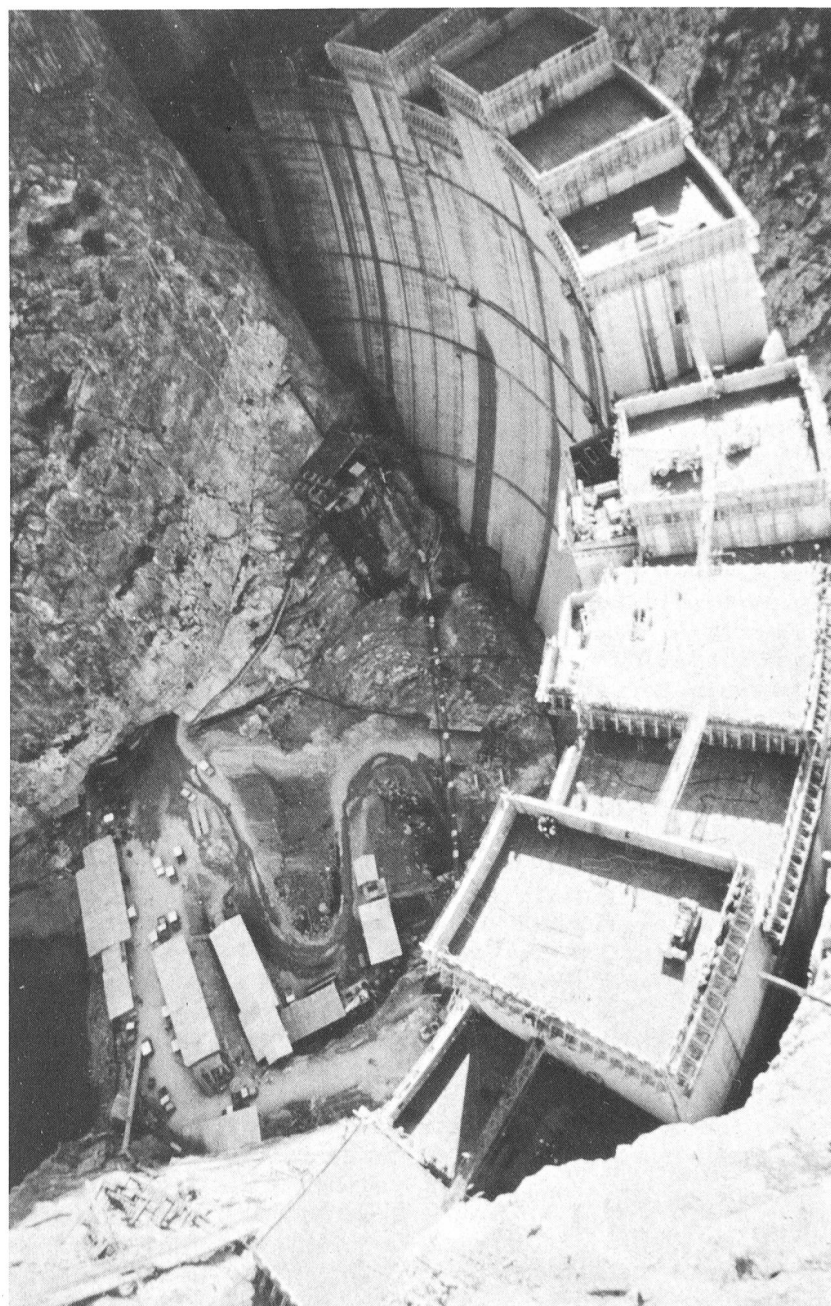
Le barrage d'El Cajón, au Honduras, d'une hauteur de 238 m, est le barrage-voûte plus élevé sur le continent américain. Les travaux de construction ont été achevés en majeure partie en 1984, et la production de courant de l'installation de 300 MW commencera en

Geodetic Survey Services Described with Reference to Work at the El Cajón Hydroelectric Power Station, Honduras

René Bélat and René Haag

Summary

The 238 m high concrete arch dam El Cajón, Honduras, is the highest on the American continent. Its construction was completed in 1984 and the 300 MW plant will start producing power in 1985. On behalf of the site management by Motor Columbus Consulting



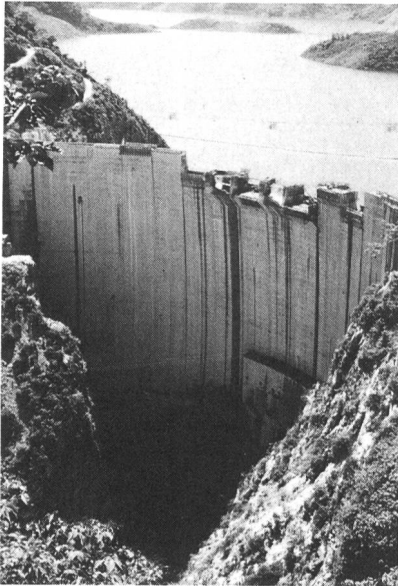


Bild 2. Staumauer El Cajón kurz vor der Vollen-
dung (Oktober 1984).

Figure 2. Barrage d'El Cajón peu de temps
avant son achèvement (octobre 1984).

Figure 2. The El Cajón dam shortly before com-
pletion (October 1984).

netz bildet auch die Basis für die De-
formationsmessungen.

2. Modellgrundlagen und Sedimentkontrolle mit Unterwasservermessung

Während der Studie wurden im Rio Humuya auf einer Flusslänge von 1,3 km 25 Echolotprofile gemessen. Diese Profile dienten geologischen Untersuchungen und vor allem als Grundlage für den Modellbau für die hydraulischen Untersuchungen an der Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW) Zürich. Die verwendete Echolotanlage Deso von Krupp Atlas ist mit dem Positionierungsgerät Ralog verbunden und liefert massstäbliche Profile. Als Orientierungshilfe zur genauen Einhaltung der Profilrichtung dient der von Wild entwickelte Lichtkeilprojektor Lawag.

Es ist vorgesehen, nach Erreichen der höchsten Staukote weitere Profile an den Stauwurzeln der Hauptarme des über 30 km langen Sees zu messen, um den Verlandungsprozess und damit die Verminderung des nutzbaren Stauvolumens zu beobachten. Der Rio Humuya kann in den regelmässig wiederkehrenden Hurrikanjahren ein Vielfaches der Geschiebemenge eines normalen hydrologischen Jahres mitführen.

3. Bauüberwachung und Schulung des Personals des Kunden

Zu den vermessungstechnischen Hauptaufgaben der Bauleitung wäh-

1985. Le barrage fut construit sous la direction de Motor Columbus, Ingénieurs-Conseils SA, Baden. Les travaux de mensuration étaient dirigés et en partie exécutés par le bureau d'ingénieur-conseil Straub S.A., Coire, Suisse. L'exemple représenté montre que sur les grands chantiers, on utilise non seulement la géodésie classique mais également toute la palette de méthodes modernes, comme les sondographies dans le lit de la rivière et la photogrammétrie terrestre. De même, on a utilisé de nouvelles méthodes pour la représentation des résultats des mesures de déformation.

1. Canevas de base et établissement des plans

Un canevas de base et des plans à l'échelle 1:500 et 1:2000 avaient été établis dans les années 70. Le canevas géodésique local a été élargi de manière continue pendant les études et les travaux de construction, et à été adapté aux besoins. Un élargissement dirigé a été nécessaire en 1982 pour le piquetage du barrage. Des calculs d'avant-métré ont permis le complément optimal du canevas des piliers. En 1984, le canevas était composé de 40 piliers d'observation. Des mesures de contrôle annuelles de l'ensemble du canevas, effectuées par la direction des travaux, ont permis une surveillance constante et la reconnaissance de glissements et de tassements locaux. Le canevas de base forme également la base des mesures de déformation.

2. Modèle de base et contrôle des sédiments par écho-sonde

Pendant l'étude, on a mesuré dans la rivière Rio Humuya, sur une longueur de 1,3 km, 25 profils obtenus par sondage acoustique. Ces profils ont servi à des études géologiques et surtout ont servi de base pour la construction d'une maquette pour les études hydrauliques au laboratoire hydraulique, Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW), Zurich. L'installation de sondage acoustique utilisée, Deso de Krupp Atlas, est reliée à l'appareil de positionnement Ralog et fournit des profils à l'échelle. Le projecteur Lawag à cône lumineux mis au point par Wild sert d'appareil d'orientation du profil. Une fois que la cote de retenue la plus élevée aura été atteinte, il est prévu de mesurer d'autres profils dans les racines de retenue des bras principaux du lac s'étendant sur plus de 30 km. C'est pour observer le processus d'envasement, et par conséquent la diminution du volume de retenue utile.

Engineers Inc., Straub Inc. supervised all survey work. The example described here shows that large-scale projects involve not only traditional geodetic survey work but also a wide range of modern methods such as river echo-sounding and terrestrial photogrammetry. New methods were also applied in the representation of deformation survey results.

1. Basic surveys

A basic network and maps 1:500 and 1:2000 were prepared in the late seventies. The local geodetic network was gradually extended as the studies and construction work progressed and was adapted to the requirements. Additional extensions had to be carried out in 1982 for construction surveys for the dam itself. A-priori calculations provided invaluable help in optimization of the pillar network which in 1984 consisted of 40 observation pillars. Control measurements carried out annually throughout the network allow continuous monitoring and detection of local displacements and subsidence. The basic network also forms a pattern for deformation measurements.

2. Model basis and sedimentation control by hydrographic survey

Twenty-five echo-sounding profiles were recorded over 1.3 km of the river Humuya. These profiles were produced for geological investigations. They provided in the first place the basis for constructing a true to scale model for hydraulic investigation at the Laboratory of hydraulics (VAW), Zurich. The Deso echo-sounding equipment from Krupp Atlas operates in conjunction with the Ralog positioning system and produces profiles to scale. The Lawag light cone projector developed by Wild was used as an aid for maintaining the profile alignment.

With the 30 km long lake at its highest water level, further profiles are to be measured at the retention roots of the main arms. The observation of the silting process will help avoid reduction of useful storage volume. In regular recurring hurricane years, the river Humuya can carry several times the amount of sediments which occur in an average hydrological year.

3. Construction supervision and training of local survey staff

Monitoring the base network, providing all main construction axes, survey controls, verifications and certifications were some of the management



Bild 3. Talflanke mit Widerlager am Ende des Ausbruchs. Aufnahme mit der terrestrischen Messkammer P31.

Figure 3. Flanc de vallée avec culée à la fin du creusement. Prise de vues avec la caméra métrique terrestre P31.

Figure 3. Gorge flank with abutment at the end of the excavation. Photo taken with terrestrial camera Wild P31.

rend der vierjährigen Bauzeit gehörten die Überwachung des Grundlagentznetzes, das termingerechte Bereitstellen aller Bauwerkshauptachsen, Ausmasskontrollen und Bauabnahmen. Vom Kunden wurde dabei ein Scherengewicht auf Know-how-Transfer und Ausbildung der rund 40 einheimischen Mitarbeiter der Vermessungsabteilung gelegt. Honduranische Ingenieure und Topographen wurden dabei systematisch geschult und auf die Übernahme dieses Bauleitungszweiges vorbereitet. Es gelang, ein schlagkräftiges Team zu formen, das allen Aufgaben gewachsen war und von allen Unternehmern respektiert wurde.

4. Terrestrische Photogrammetrie zur Ausbruchkontrolle

Das Ausbruchvolumen für die beiden Widerlager in den Talflanken erreichte 1,9 Mio m³. Ein ideales Hilfsmittel zur Volumenbestimmung bildete die terrestrische Photogrammetrie. Mit der Messkammer P31 von Wild wurden die beiden Talflanken vor Beginn und am Ende der Ausbrucharbeiten aufgenommen. Geodätisch eingemessene und ausgeglichene Passpunkte am Rand und im Bereich der Ausbruchzone erlaubten den Vergleich der beiden Zustände vor und nach dem Ausbruch. Die Auswertung und die Volumenbestimmung erfolgten in der Schweiz. Die Bauleitung nahm dabei eine neutrale Funktion zwischen Auftraggeber und Unternehmer ein. Die Resultate lagen in kurzer Zeit und mit hoher Genauigkeit vor. Die Anwendung der terrestrischen Photogram-

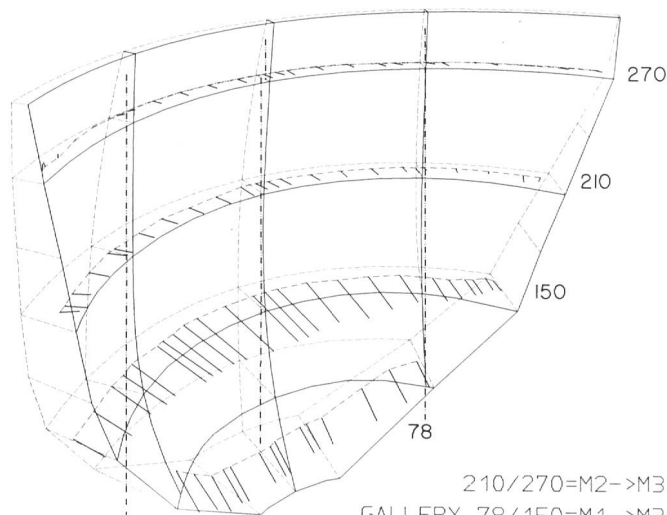
La rivière Rio Humuya peut charrier pendant les années de hurricane revenant régulièrement un multiple de la quantité charriée pendant une année hydrologique normale.

3. Surveillance des travaux et formation du personnel indigène

Parmi les charges principales de mètre de la direction des travaux pendant la période de construction de quatre ans, figurait la surveillance du canevas du substratum, la préparation dans les délais voulus de tous les axes principaux de l'ouvrage, les contrôles du mètre et la réception des ouvrages. Le client s'est intéressé plus particulièrement au transfert de know-how. Les ingénieurs et topographes honduriens ont été formés systématiquement et préparés à la prise en charge de cette branche de la direction des travaux. On est parvenu à former une équipe efficace capable de s'attaquer à tous les problèmes et qui a été respectée par tous les entrepreneurs.

4. Photogrammétrie terrestre et contrôle du creusement

Le volume creusé pour les deux culées dans les flancs de la vallée a atteint 1,9 millions de m³. La photogrammétrie terrestre a constitué un moyen idéal pour la détermination du volume. A l'aide de la caméra métrique P31 de Wild, on a pris des vues des deux flancs de vallée au début et à la fin des travaux de creusement. Les points de contrôle mesurés géodésiquement et compensés au bord et dans la zone de creusement ont permis de comparer les deux états, avant et après creusement. L'exploitation des résultats et la détermination du volume ont été faites en Suisse. La direction des travaux a pris une position neutre entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre. Les résultats ont été obtenus rapidement avec une grande précision. L'utilisa-



EL CAJON ARCH DAM:

X0 = 10153.00 Y0 = 100585.00 Z0 = 400.00
S0X = 10045.00 S0Y = 100117.00 HMAX = 260. mm

Bild 5. Computerausdruck mit dreidimensionaler Darstellung der Mauerdeformationen nach dem Ersteinbau.

Figure 5. Résultats d'ordinateur avec représentation tridimensionnelle des déformations du mur après la mise en eau.

Figure 5. Computer print-out with three-dimensional representation of dam deformations after the initial filling of the reservoir.

tasks throughout the four years of construction. Particular importance was given to the transfer of know-how and the training of 40 local assistants in the survey department. Honduran engineers and topographers were given systematic training and prepared for taking over their construction management duties. It was possible to form an effective team capable of coping with all tasks and aspects of survey.

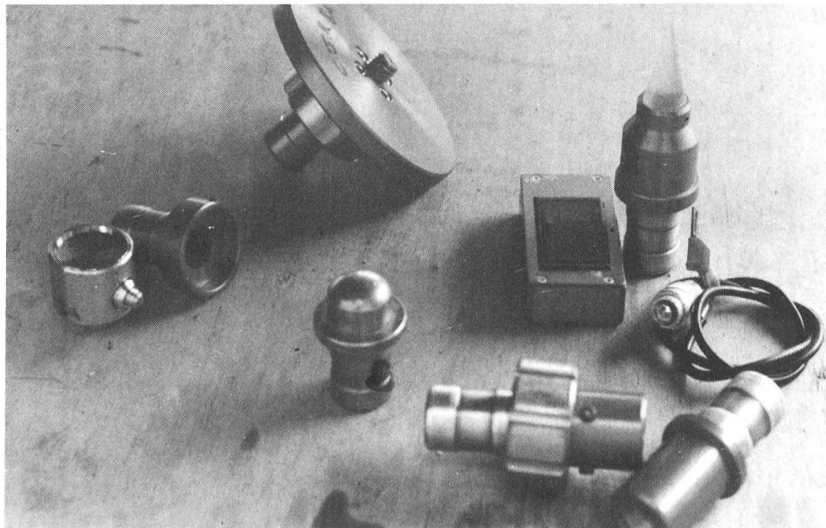
4. Terrestrial photogrammetry for excavation

The excavation volume for the two abutments at the flanks of the gorge was 1.9 million m³. Terrestrial photogrammetry proved to be an ideal aid for determining the volume. The two flanks of the gorge were surveyed with the photo camera Wild P31 before and after the excavation work. Geodetically surveyed and compensated alignment points at the edge and within the area of the excavation allowed comparison of the two configurations before and after. Evaluation and volume calculations were carried out in Switzerland. As far as this work was concerned, the site management performed a neutral function between the client and the contractor. Very accurate results were quickly available. Compared with the traditional method, terrestrial photo-

Bild 4. Sortiment von Zielmarken und Adaptern. Wichtige Hilfsmittel für die Kontrolle der Präzisionspolygonzüge in den Mauergalerien.

Figure 4. Assortiment de voyants et d'adaptateurs; Instruments importants pour le contrôle des cheminements de précision dans les galeries du mur.

Figure 4. A selection of targets and adaptors; important aids for checking precision polygonal traverses in the dam galleries.



metrie erspart nicht nur sehr viel Aufnahmezeit gegenüber den klassischen Methoden, sondern beschleunigt, dank den von Unternehmer und Auftraggeber akzeptierten Resultaten, auch die Abrechnungsverhandlungen.

5. Deformationsmessungen

Der Ersteinbau im Juni 1984 begann zu einem Zeitpunkt, als die Mauer El Cajón erst die halbe Höhe erreicht hatte. Dementsprechend musste die Installation des Deformationsmessungssystems und die Nullmessung parallel zur Bauausführung erfolgen. Das inzwischen fertiggestellte System umfasst im Aussennetz 24 Beobachtungspfeiler, die das Gebiet der Mauer und der Auflager weiträumig nach hinten versichern. In der Mauer wurden 4 Präzisionspolygonzüge mit insgesamt 220 Konsolen angelegt. Die Polygonzüge sind durch sechs Fenster auf der Luftseite der Mauer mit dem Aussennetz und durch optische Lotungen in den Pendelschächten untereinander verbunden. Eine enge Zusammenarbeit des Vermessungsingenieurs mit dem projektierenden Ingenieur erlaubte bauliche Anpassungen bereits in der Projektierung, um den Forderungen der Vermessung gerecht zu werden.

Neben den klassischen Methoden der Resultatmeldung wurde erstmals eine dreidimensionale Darstellung gewählt, welche das Gesamtverhalten der Mauer zeigt. Das Gerippe der Mauer kann dabei in Hauptschnitten (Pendel) oder blockweise dargestellt werden. Das Projektionszentrum kann beliebig gewählt werden, was eine Beurteilung aus jedem gewünschten Blickwinkel ermöglicht.

tion de la photogrammétrie terrestre permet d'économiser non seulement beaucoup de temps de prise de vues par rapport aux méthodes classiques, mais encore accélère les négociations concernant les règlements de compte grâce aux résultats acceptés par le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage.

5. Mesure des déformations

La mise en eau en juin 1984 a commencé à une période où le barrage d'El Cajón avait atteint seulement la mi-hauteur. Par suite, l'installation du système de mesure des déformations et la mesure du zéro ont dû se faire parallèlement à l'exécution des travaux. Le système réalisé entre-temps comprend dans le canevas extérieur 24 piliers d'observation qui assurent vers l'arrière la zone du mur et des appuis. Dans le mur, on a procédé à 4 cheminements de précision avec un total de 220 consoles. Les cheminements sont reliés par six fenêtres du côté extérieur du mur avec le canevas extérieur, et entre eux par des sondages optiques dans les puits. Une collaboration étroite entre l'ingénieur topographique et l'ingénieur projeteur a permis des adaptations de construction dès la phase de projet pour tenir compte des exigences du mètre.

A côté des méthodes classiques d'indication des résultats, on a choisi pour la première fois une représentation tridimensionnelle indiquant le comportement général du mur. La carcasse du mur peut être représentée en coupes principales ou par blocs, etc. Le centre de projection peut être choisi librement, ce qui permet une appréciation de n'importe quel angle de vue désiré.

grammetry not only saved a great deal of time but also accelerated quantity negotiations thanks to the acceptability of the results to the client and the contractor.

5. Deformation measurements

Initial filling of the reservoir started in June 1984 when the El Cajón dam reached half of its height. Consequently, the deformation measurement system had to be installed and zero measurements taken as the work progressed. The outer network comprises 24 observation pillars covering the area of the dam and the abutments as well as the stable area downstream. Four precision polygonal traverses with a total of 220 consoles were arranged inside the dam. The polygonal traverses are connected with the external network through six windows on the air-side and interconnected into the pendulum shafts by optical plumbing. To meet survey requirements at early project stages, structural adjustments were necessary. This was possible thanks to the close cooperation between the surveying engineer and the project engineer.

In addition to the conventional methods of reporting results, a three-dimensional representation was applied for the first time, showing the overall behaviour of the dam. This system can be used to show any individual sections of the dam. The projection centre can be selected at any suitable point to allow assessment from any preferred angle.

Adresse der Verfasser: René Bélat, René Haag, c/o Ingenieurbüro Straub AG, CH-7000 Chur/Schweiz.

Adresse des auteurs: René Bélat, René Haag, Ingenieurbüro Straub AG, CH-7000 Coire/Suisse.

Author's address: René Bélat, René Haag, c/o Ingenieurbüro Straub AG, CH-7000 Chur/Switzerland.