

Wasserkraftanlage Rincón del Bonete am Río Negro

Uruguay 1937 – 1942

vom Fachbereich Bauingenieurwesen der Fachhochschule Potsdam
zur Erlangung des Leistungsnachweises im Ingenieurprojekt:
„Bildarchiv der Philipp Holzmann AG“

**Sebastian Hütteroth (Angermünde, Brandenburg) und
Alexandru Herca (Bukarest, Rumänien)**

Gutachter: Prof. Dr. phil. A. Kahlow

Potsdam, Januar 2012

Inhalt

1. Vorwort	2
2. Die Philipp Holzmann AG in Südamerika.....	3
2.1. Die Geopé in Uruguay	5
3. Randbedingungen	6
3.1. Politische Randbedingungen	6
3.2. Geografische Randbedingungen	7
3.3. Geologische Randbedingungen.....	8
3.4. Bautechnische Randbedingungen	10
4. Planungen und Ausschreibung.....	10
4.1. Vorplanung	10
4.2. Variante 1	11
4.3. Variante 2	12
4.4. Ausschreibung und Vergabe.....	12
5. Bauabschnitte.....	13
6. Besondere Herausforderungen	15
6.1. Baustelleneinrichtung.....	15
6.2. Baustellenlogistik.....	16
6.3. Maschinenpark	18
6.4. Hochwasser	20
6.5. Fangedamm – „cellular cofferdams“	22
6.6. NÖTZLI – Pfeiler	24
6.7. Hydratationswärme.....	26
Quellenverzeichnis	29

1. Vorwort

Die Wasserkraftanlage Ríncon del Bonete am Río Negro in Uruguay wurde zwischen 1937 und 1942 durch die Philipp Holzmann AG gebaut.

Während die maßgeblichen Kenndaten der Staustufe schnell aufgeführt sind, erschließen sich die vielfältigen und teilweise hoch komplexen Herausforderungen an die planenden Ingenieure und ausführenden Firmen auf den ersten Blick nicht.

Durch das Auswerten von Archivunterlagen der Philipp Holzmann AG war es möglich, einen völlig anderen Einblick in das Bauprojekt zu gewinnen und die planerischen, organisatorischen und technischen Meisterleistungen nachvollziehbar darzustellen.

Eine Vielzahl gut erhaltener Bilddokumentationen in Kombination mit einem detaillierten Bericht eines am Bau beteiligten Ingenieurs, geben Aufschluss über den Bauablauf, die eingesetzten Verfahren, Baustoffe, Geräte und die Probleme während der Bauzeit.

Die folgende Ausarbeitung zeigt, in Ergänzung und unter zu Hilfenahme des Berichts von Dipl.Ing. Wilhelm Hartmann, ein Gesamtbild über die Aktivität der Holzmann AG in Südamerika bis 1945 und setzt sich dabei speziell mit dem Bau des Wasserkraftwerks Ríncon del Bonete auseinander. Es wird insbesondere auf die Randbedingungen, die Planung und Ausschreibung, die organisatorischen und die technischen Herausforderungen bei der Umsetzung dieses Bauvorhabens eingegangen.



Abb. 1: Staudamm von Unterwasser aus gesehen 1942



Abb. 2: Staudamm von Oberwasser aus gesehen 1941

2. Die Philipp Holzmann AG in Südamerika

Nachdem die Philipp Holzmann AG bereits vor 1912 erste Aufträge in Südamerika/Argentinien übernommen hatte, wurde am 14. Mai 1913¹ eine Niederlassung in Argentinien gegründet. Mit einem Gründungskapital von 4 Millionen Pesos entstand die Compañía General de Obras Públicas, Sociedad Anónima (Geopé S.A., Buenos Aires). Erst ab 1925 konnte die Geopé einen starken Zuwachs an Aufträgen verzeichnen. Dabei wurde ein großes Leistungsspektrum in den Bereichen Hoch- und Tiefbau abgedeckt. Die Objekte reichten vom einfachen Wohn- und Geschäftshausbau, diversen Bankgebäuden und Hochhäusern über Fabriken, Straßenbauprojekte, den Bau einer Eisenbeton-Druckwasserleitung, bis hin zum Kraftwerksbau und Wasserbauarbeiten. Die Geopé konnte sich durch diverse Großprojekte, wie den Bau der zwei „Superusina“ (Großkraftwerke) im Hafen von Buenos Aires zwischen 1925 und 1930, einen Namen machen und fasste somit immer mehr Fuß in Argentinien.

Im gleichen Zeitraum versuchte Holzmann auch in anderen südamerikanischen Staaten das Auslandsgeschäft verstärkt zu fokussieren und gründete weitere Niederlassungen. So entstand in Brasilien am 8. September 1927 die Companhia Geral de Obras e Construções, Sociedad Anónima (Geobra S.A., Rio de Janeiro). Durch das Vorhandensein bereits etablierter europäischer, sowie einheimischer Großbaufirmen, eines relativ starken Preisdumpings und fehlender Kontakte, fand die Geobra allerdings schwer Zugang zum brasilianischen Markt. Nachdem die Holzmann-Tochter die ersten größeren Projekte für sich gewinnen konnte, kamen weitere Probleme in Form von Zahlungsverzögerungen, Zahlungsausfällen, die Stilllegung von Projekten und letztendlich noch die Revolution im Oktober 1930 in Brasilien und die Weltwirtschaftskrise im Jahr 1931 dazu, wodurch sich die Geobra insgesamt nicht zu einer profitablen Niederlassung entwickeln konnte.

Weitere Versuche unternahm Holzmann mit der „Copru“ in Peru und der „Construct“ in Chile.

Die Compañía General de Construcciones del Perú, Sociedad Anónima (Copru S.A., Lima) wurde am 1. Oktober 1925 gegründet, da sich für Holzmann bereits Aufträge durch die peruanische Regierung angebahnt hatten. Es folgten diverse staatliche Aufträge für Hochbauten und sehr umfangreiche Straßenbauprojekte mit Brücken- und Tunnelbauwerken. Die Randbedingungen waren allerdings schwierig und einige Projekte wurden bereits in frühen Baustadien eingestellt. Nach politischen Unruhen 1930 gab es ein Baustopp der staatlichen Großprojekte, die offenen Zahlungen des Staates gegenüber der Copru wurden nicht anerkannt und die Kontakte abgebrochen. Die Copru führte in den

¹ Leonel Contreras; Temas de Patrimonio Cultural 15 - RASCACIELOS PORTEÑOS -Historia de la Edificación en altura en Buenos Aires (1580-2005); 25.11.2005

folgenden Jahren fast nur noch Bauten privater Auftraggeber aus. Die Construct wurde als die chilenische Tochter „Philipp Holzmann & Cie“ bereits 1913 von Buenos Aires aus gegründet und nach erfolgreicher Geschäftstätigkeit 1921 in eine Aktiengesellschaft umgewandelt. Sie erwirtschaftete allein von 1927 bis 1931 rund 130 Millionen Pesos in Chile. Mit der Weltwirtschaftskrise 1931 brach in Chile jedoch eine Revolution aus und im Zuge dieser ein großer Teil des Bauwesens zusammen. Auf Grund von langfristig schlechten Auftragsaussichten wurde die Construct nach Fertigstellung der begonnen Arbeiten und zähen Auseinandersetzungen um die Abrechnung und Auszahlung ihrer Guthaben nach 1935 schließlich abgewickelt.

Damit blieb die Geopé in Argentinien die bei weitem erfolgreichste Niederlassung, welche auch nach 1931 noch profitabel arbeitete. Um das Jahr 1936 stellte die Geopé schließlich sogar das größte Bauunternehmen Südamerikas dar. In dieser Zeit beschäftigte die Niederlassung der Philipp Holzmann AG rund 300 Angestellte und 5000 Arbeiter.² Für diese positive Entwicklung sind vor allem Dr.-Ing. Robert Hartmann und Dr.-Ing. Martin Arndt verantwortlich. Das letzte erfolgreiche Jahr der Geopé ist 1940 mit einem Auftragsvolumen in Höhe von über 400 Millionen Pesos. Danach waren die Aufträge kontinuierlich rückläufig.

Hauptursache hierfür war vor allem der 2. Weltkrieg. Seit Kriegsausbruch nahmen viele Institutionen und Unternehmen in Südamerika eine deutschfeindliche Haltung ein. Da die Geopé auf einer schwarzen Liste auftauchte, wurde diese nach Kriegsausbruch auch immer rücksichtsloser gehandhabt. Die Konsequenzen waren zunehmend Probleme Aufträge zu erhalten und auch die Beziehungen zu Lieferanten gestalteten sich schwierig. Auf Grund der guten Zusammenarbeit in den vorangegangenen Jahren setzten sich aber sowohl viele Lieferanten, wie auch Institutionen der argentinischen Regierung über die schwarze Liste hinweg. Ab 1942 standen jedoch alle großen deutschen Firmen unter strenger Beobachtung. Nach der Revolution 1943 kam in Argentinien eine Militärregierung an die Macht, brach die politischen Beziehungen zu Deutschland ab und erklärte Deutschland den Krieg. 1945 wurde die Geopé dann beschlagnahmt, das bisherige Direktorium abgesetzt und das Bauunternehmen verstaatlicht.³

² Pohl, Manfred; Philipp Holzmann-Geschichte eines Bauunternehmens; 1999; 1. Auflage

³ Hans Meyer-Heinrich; Philipp Holzmann Aktiengesellschaft; Frankfurt am Main 1949

2.1. Die Geopé in Uruguay

Während die Geopé bereits seit 1913 in Argentinien arbeitete, konnte 1918 das erste Mal mit einem Brückenbau im Nachbarland Uruguay ein größerer Auftrag akquiriert werden. Daraus entstand eine Niederlassung der Geopé in Montevideo (Uruguay). Diese widmete sich zunächst Straßenbauobjekten, dem Bau von Kanalisationen und der Errichtung von Hochbauten. 1925 erfolgte ein größerer Auftrag über eine Talsperre für die Stadt Rivera mit einem Bauvolumen von 2,5 Millionen Pesos. Im Jahr 1930 erhielt die Geopé den Zuschlag für den Bau einer Dampfkraftzentrale in Montevideo in Arbeitsgemeinschaft mit der Metropolitan-Vickers und Babcock and Wilcox, Ltd. Die Kombination resultierte unter anderem daraus, dass die großen deutschen elektrischen Lieferfirmen sich bereits anderweitig gebunden hatten. Da die Planbearbeitung in den Einzelheiten komplex war, erforderte das Projekt viele Reisen zwischen Manchester, London, Dortmund, dem Stammhaus in Frankfurt, Montevideo und der Geopé Zentrale in Buenos Aires. Der Objektwert für die Geopé betrug 16 Millionen Pesos. Trotz der hohen Anforderungen gelang es die angesetzte Baufrist einzuhalten. Vor allem durch die enge Zusammenarbeit zur Filiale in Buenos Aires und den Holzmann-Büros in Deutschland, aber auch die engen Kontakte zu internationalen Partnern und den Behörden vor Ort, war die Holzmann Tochter in Uruguay sehr leistungsfähig. 1937 erhält die Geopé, zusammen mit weiteren deutschen Firmen, den größten Auftrag in ihrer Geschichte - den baulichen Teil für die Wasserkraftanlage Rincón del Bonete (Uruguay) am Río Negro. Der Objektanteil der Geopé belief sich auf ein Auftragsvolumen von 40 Millionen Pesos. Die Bauzeit für die Wasserkraftanlage war von 1937-1945. Im Jahr 1942 wurden die Beziehungen zur den deutschen Unternehmen seitens der Regierung Uruguays allerdings abrupt beendet und die Niederlassung der Geopé in Montevideo geschlossen.

3. Randbedingungen

3.1. Politische Randbedingungen

Argentinien gehörte in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zu den reichsten Ländern der Welt. 1913 lag das Pro-Kopf-Einkommen auf dem Niveau Frankreichs und Deutschlands.⁴

In Uruguay leitete Anfang des 20. Jahrhunderts Präsident José Batlle y Ordóñez' (1856-1929) mit seinen Wirtschafts- und Sozialreformen eine für Südamerika beispiellos lange Phase politischer Stabilität und wirtschaftlichen Aufschwungs ein. In den beiden Perioden seiner Präsidentschaft (1903-1907 und 1911-1915) wurde Uruguay in vieler Hinsicht zum fortschrittlichsten Staat der Welt. Die Verfassung auf Grundlage des Kollegialsystems löste zeitweise das Präsidialsystem ab und brachte Uruguay den Namen "Schweiz Südamerikas" ein. Uruguay ist generell das am stärksten europäisch geprägte Land Südamerikas. Im Rahmen eines Sozialstaats initiierte Batlle eine vorbildliche Sozial- und Arbeitsgesetzgebung, wie z.B. Festlegung von Mindestlöhnen, Achtstundentag, Arbeitslosenunterstützung, Altersrenten. Er schaffte die Todesstrafe ab, vollzog die Trennung von Staat und Kirche und forderte gleiche Rechte für Frauen.⁵ Dementsprechend waren die Randbedingungen für die Holzmann Niederlassung und die deutschen Ingenieure gut, denn es gab in dieser Zeit und weit über die Ära Batlle hinaus auch sehr ausgedehnte Bauaktivitäten. Es wurden neuer Wohnraum und moderne Städte mit Hochhäusern, moderner Infrastruktur, Kanalisationen und sicherer Energieversorgung geschaffen. Die Geopé führte seit der Gründung der Niederlassung Montevideo viele Aufträge aus, die von der uruguayischen Regierung an die südamerikanische Holzmann Niederlassung vergeben wurden. Der Bau der Dampfkraftzentrale in Montevideo ab 1930 bewies die sehr gute internationale Zusammenarbeit der europäischen Baufirmen, wie auch die gute Kommunikation mit den Firmen und Behörden vor Ort. Um wirtschaftlich unabhängiger zu werden und den Fortschritt und Wohlstand zu sichern und weiter voranzutreiben, wurde in Uruguay frühzeitig die Energiewende fokussiert und ein Projekt für die Wasserkraftnutzung des Río Negro entwickelt. Der Vertragsabschluss über den Bau des Großprojektes staatliches hydroelektrisches Werk am Río Negro kam 1937 zwischen der Geopé und der Regierung Uruguays „in einer Atmosphäre freundschaftlichen Einvernehmens“ zustande. In Anbetracht der politischen Verhältnisse und nationalsozialistischen Ausrichtung der Regierung innerhalb

⁴ Blanchard, Olivier und Pérez Enri, Daniel; Macroeconomía. Prentice Hall Iberia; Buenos Aires 2002

⁵ <http://www.muz-online.de/america/uruguay.html>

Stand:2012-01-20

Deutschlands, sah der Vertrag mit der uruguayischen Regierung aber bereits eine Klausel für einen eventuellen Kriegsfall vor. Bei Eintreten desselben, regelte diese Klausel einen Bau- und Lieferstopp für die Dauer des Krieges und die Wiederaufnahme, sofern es die Umstände wieder erlauben. Bis zum Anfang des zweiten Weltkriegs 1939 liefen die Bauarbeiten und die Beziehungen zur Philipp Holzmann AG ohne jegliche Erwähnung von Komplikationen. Nach Kriegsausbruch nahm die Aufsichtsbehörde allerdings eine deutschfeindliche Haltung ein und es herrschte ein angespanntes Verhältnis. Die Regierung Uruguays ließ die Geopé ohne größere Einschränkungen den Bau soweit fertig stellen, bis nur noch die technische Ausstattung fehlte. Dann wurde der Vertrag allerdings 1942 von der Regierung Uruguays für nichtig erklärt. Als der Erfolg des Baus sichergestellt und alles für die Montage der elektrischen Ausrüstung bereit war, wurden sämtliches Baugerät beschlagnahmt, die offenen Zahlungen an die Geopé nicht mehr beglichen und die Organisation der deutschen Firmen von der Baustelle verwiesen. Dies bedeutete auch das Ende der Niederlassung der Geopé in Montevideo für die Holzmann AG. Die fehlenden Turbinen und die elektrische Ausrüstung wurden aus den Vereinigten Staaten importiert.⁶

3.2. Geografische Randbedingungen

Uruguay grenzt im Norden an Brasilien, im Osten an den Atlantischen Ozean, südlich an den Río de la Plata und westlich an Argentinien. Der Río Negro ist der wichtigste Fluss des Landes und durchzieht Uruguay von Nordwesten nach Südosten. Er entspringt im südlichen Hochland Brasiliens und mündet nach ca. 700 km Flusslauf in den Río de la Plata. Der Fluss besitzt heute im uruguayischen Territorium ein Einzugsgebiet von ca. 69.700 km², was rund 40 % der Oberfläche des Landes entspricht⁷. Da das Land insgesamt sehr flach ist, prägt den Río Negro lediglich ein schwaches Gefälle. Im Abschnitt vom Zufluss des Río Tacuarembó bis zu dem Ort Paso de los Toros beträgt das Gefälle lediglich 0,17 ‰. Dieser Umstand bot optimale Voraussetzungen für das Anlegen eines Staubeckens mit großer Ausdehnung. Die Sperrstelle befindet sich etwa 250 km nordöstlich von Montevideo in Rincón del Bonete (Lage: 32°49′51″ S, 56°25′16″ W)⁸. Der nächstgelegene Ort ist das 20 km stromabwärts entfernte Paso de los Toros. Vor dem Bau der Wasserkraftanlage betrug das Einzugsgebiet bis zur Sperrstelle 37.725 km², auf das eine jährliche Regenmenge von 1.150 mm niedergeht. Messdaten ergaben an der Sperrstelle einen mittleren Abfluss von 525 m³/s. Bei Niedrigwasser kann dieser auf nur 10 m³/s zurück gehen und bei Höchstwasser auf 5500 m³/s steigen, was in geologischen Ursachen begründet liegt.

⁶ Pohl, Manfred; Philipp Holzmann-Geschichte eines Bauunternehmens; 1999; 1. Auflage

⁷ http://en.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Negro_%28Uruguay%29 Stand:2012-01-20

⁸ http://de.wikipedia.org/wiki/Rinc%C3%B3n_del_Bonete Stand:2012-01-20

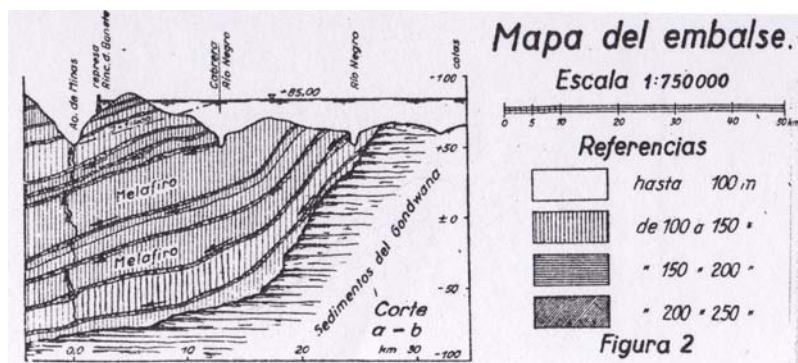
Mit dem Bau der Wasserkraftanlage in Rincón del Bonete sah man den Anstau des Río Negro in 2 Etappen vor. Im ersten Schritt erfolgte der Stau um 32 m vom ursprünglichen Flussbett bei Kote +48,0 auf Kote +80,0. In der 2. Etappe wurde das endgültige Stauziel bei Kote +83,0 erreicht. Der entstandene Stausee erstreckt sich von der Sperrstelle aus längs des Flusslaufs auf eine Länge von etwa 140 km, über eine Fläche von 1.495 km² und hat einem nutzbaren Inhalt von 11 km³ Wasser.



Abb. 3: Geographische Lage des Stausees in Uruguay

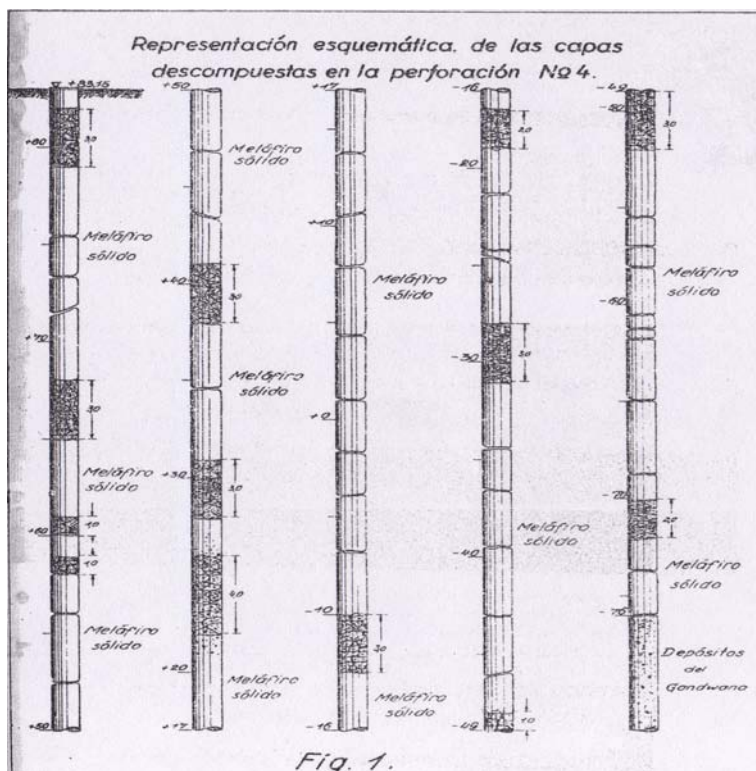
3.3. Geologische Randbedingungen

Von der Sperrstelle aus besteht der Baugrund mehr als 25 km weit flussaufwärts aus Basalt und Melaphyr. Das sich anschließende Staubecken ist durch die Anwesenheit von Fels-Formationen aus verschiedenen Gondwana-Sedimenten gekennzeichnet. Diese Gesteine mit zum Teil porphyrischen Gefüge sind gekennzeichnet durch eine Wasseraufnahme von nur 0,1 - 0,3 Gew.-% und eine außerordentliche Festigkeit von teilweise weit über 200 N/mm².



Damit sind diese Gesteine sehr widerstandsfähig und fast vollkommen dicht, was zu einem sehr hohem Abflussfaktor führt und Ursache für die schnellen Hochwasser nach starken Regenfällen ist. Während der Bauzeit wurde des Öfteren ein Anstieg des Wasserstandes um 7 m in nur 9 Stunden gemessen. Der Umgang mit dem Hochwasser bereitete den Ingenieuren große Probleme. Besonders in den Jahren 1940/41 war die Baustelle regelmäßig überflutet worden, was zu zahlreichen Schäden führte.

Doch die Geologie stellte die Ingenieure noch vor weitere Herausforderungen. Bohrproben ergaben stellenweise, dass sich im Bereich der Sperrstelle Schichten stark verwitterter Felsschichten unter und über den Bänken des gesunden grauen Basaltes befanden. In der Erdgeschichte unterlagen einzelne Schichten einem starken Verwitterungsgrad und sind zu lehmartigen Material mit geringer Dichte, Widerstandsfähigkeit und höheren Durchlässigkeitsbeiwerten zerfallen und anschließend durch Eruptionen wieder von frischen, gesunden Felsschichten überdeckt worden. Auch die oberste Schicht im Flussbett war verwittert und musste entfernt werden, bevor die Sperre und das Kraftwerk errichtet werden konnten. Weiterhin war bei der Wahl der Sperrenart Rücksicht auf die schlechte Tragfähigkeit der tiefer liegenden, verwitterten Schichten zu nehmen. Eine Schwergewichtsmauer wäre mit Bodendrücken von bis zu 9 kg/cm² bereits unzulässig gewesen.



Auf der nebenstehenden Abbildung, die das Ergebnis einer Bohrung wiedergibt, erkennt man die einzelnen Schichten, welche durch stark verwitterte Schichten getrennt sind.

3.4. Bautechnische Randbedingungen

Die Abmaße des Bauwerks und besonderen Herausforderungen des Standortes erforderten vielfältige bautechnische Lösungen zum fristgerechten Erreichen der Vorgaben. Da Uruguay außerhalb der Städte sehr ländlich geprägt war, standen in der Nähe der Baustelle weder Infrastrukturen zum Antransportieren von Baugeräten oder Baustoffen, noch Unterkünfte für die Belegschaft oder eine ausreichende Stromversorgung zur Verfügung. Die Umschließung der künftigen Baugrube mit einem Fangedamm war für die gegebenen Verhältnisse neuartig und der Erfolg trotz Modellversuchen nicht garantiert. Die Baugeräte wurden aus Deutschland eingeführt und teilweise eigens für die Arbeiten am Damm entwickelt. Da sich der Baugrubenaushub nicht in ausreichendem Maße als Betonzuschlag eignete, wurde für die Betonherstellung ein eigener Steinbruch eröffnet und diverse Förderbandanlagen, sowie weitere zum Materialtransport notwendige Bahntrassen zur und auf der Baustelle gebaut. Eine Betonmischanlage mit der entsprechenden Leistung und allen zugehörigen Einrichtungen musste ebenso erst erbaut werden, um überhaupt mit dem Kraftwerksbau beginnen zu können. Ein anderes Problem beim Betonieren selbst war die Hydratationswärme der Massenbetonteile, welche Rissbildung hervorrief und die Ingenieure vor eine weitere Herausforderung stellte. Zur Sicherung der Sperre gegen Unterspülung waren spezielle Injektionsverfahren notwendig. Insgesamt forderten die technisch und organisatorisch äußerst vielfältigen Anforderungen den Ingenieuren innovatives und präzises Arbeiten ab.

4. Planungen und Ausschreibung

4.1. Vorplanung

Bereits 1905 wurden von uruguayischen Ingenieuren erste Studien zum kommerziellen Ausbau des Río Negro angefertigt, 1911 von englischen Ingenieuren weiterentwickelt aber dann durch das Staatsmonopol für Energieversorgung unterdrückt. Nachdem im Jahr 1926 französische Ingenieure scheitern, wird 1929 eine uruguayische Studienkommission gegründet, die sechs ausländische Firmen zur Ausschreibung für ein Konzept zur Wasserkraftnutzung am Río Negro beauftragte. Alle resignierten in Anbetracht der schwierigen Randbedingungen und es konnte kein umsetzbares Projekt entwickelt werden. Nach diesem „Impasse“ ruft die genannte Kommission im Jahre 1933 Herrn Professor Ludin, einen weltbekannten deutschen Fachmann. Ludin studierte 1899-1904 Bauingenieurwesen an den Technischen Hochschulen Charlottenburg und Karlsruhe. Nachdem er 1909 in Karlsruhe promovierte, schrieb er 1910 das Buch „Die Wasserkräfte“, das 1913 erschien und seinen Namen in der Fachwelt bekannt machte. 1920 habilitierte er für Wasserwirtschaft an der TH Karlsruhe, trat aus dem Staatsdienst aus und gründete ein Ingenieurbüro, das vor allem Entwürfe und Gutachten für Wasserkraft- und

Wasserversorgungsanlagen bearbeitete. Bereits 1929/30 weilte Ludin auf Einladung der Regierung von Uruguay ein Jahr in Montevideo als Gutachter und Leiter der Vorarbeiten für den Wasserkraftausbau des Río Negro.⁹ Nach der Beauftragung durch die Kommission im Jahr 1933 ist binnen 7 Monaten ein Projekt entwickelt worden, welches eine erste Staustufe des Río Negro in Rincon del Bonete vorsah. Dieses Projekt wurde 1934 der Regierung in Montevideo vorgelegt und anschließend öffentlich ausgeschrieben.

Die Vorplanung mit Erläuterungsbericht besteht aus 2 Bänden mit diversen Anlagen und gibt einen recht detaillierten Überblick zu den baulichen Einrichtungen des geplanten Kraftwerks. Da das Ludin'sche Projekt für die Regierung in Uruguay verfasst war, sind die Unterlagen jedoch in Spanisch verfasst. Sie beinhalten u.a. Hydrogeographische Grundlagen, Vorbemessungen zur Leistung des Kraftwerkes, Statische Vorbetrachtungen, Graphostatische Betrachtungen, einen ersten Entwurf eines Leistungsverzeichnisses zu zwei verschiedenen Ausführungsvarianten (Band 1-Kapitel 10), sowie ein Bericht zum möglichen Bauablauf (Band 2-Kapitel 19). Einerseits wurden für die Kennwertermittlungen diverse Untersuchungen unter Ludin angestellt, andererseits basieren die Daten aus Aufzeichnungen, die Ludin zur Verfügung gestellt bekam. Beispielsweise Diagramme zum Regenabfluss in Montevideo von 1883 bis 1932 oder Tabellen mit gewässerkundlichen Daten des Río Negro ab 1909. Die in Band 1-Kapitel 19 aufgeführten Varianten werden im Folgenden in den wichtigsten Punkten vorgestellt.

4.2.Variante 1

In der Vorplanung gleichen sich beide Varianten weitestgehend im Bauablauf. So sind zunächst eine Vielzahl an bauvorbereitenden Maßnahmen durchzuführen und umfangreiche Arbeiten bezüglich der Baustelleneinrichtung umzusetzen. Gegenstand der ersten Bauabschnitte sind zum Beispiel eine Normalspurbahntrasse sowie Gebäude für die Verwaltung und Wohneinrichtungen. Des weiteren eine Behelfsbrücke, ein Kraftwerk für die Versorgung der Baugeräte und Maschinen mit Strom bis hin zu den Fangedämmen für die Baugrubeneinfassung, bevor der eigentliche Kraftwerksbau beginnt.

Die beiden Varianten unterscheiden sich am grundlegendsten in der Ausführung der Sperrenart. Als eine Möglichkeit sah Ludin die Ausführung der Sperre als Pfeilerstaumauer mit Rundköpfen und beschreibt diese in Variante 1.

Hierzu sind im Bericht auch Berechnungen durchgeführt und bereits bemaßte Skizzen der Pfeiler mit Nötzli-Halbrundköpfen abgebildet. Die Wehre sollten über Schütze gesteuert werden. Ein weiterer Unterschied zu Variante 2 ist der geplante Einbau von 2 Laufkränen mit je 120 t Tragkraft im Krafthaus.

⁹ <http://www.deutsche-biographie.de/sfz54634.html>

4.3.Variante 2

Als zweite Variante war ein Steinschüttdamm vorgesehen. Laut Plänen und Zeichnungen unterschied sich die Ausführung des Hochwasserüberfalls zu dem in Variante 1 deutlich. Die Wassermassen bei Hochwasser sollten laut diesem Entwurf mit Hilfe von Segmentwehren kontrolliert werden. Die Gesamtbreite des Damms sollte ca. 110 m bei einer Kronenbreite von 7,0 m betragen. Allerdings musste diese Variante nach weitergehenden Untersuchungen fallen gelassen werden. Eine Felsschüttung war wirtschaftlich nicht durchführbar, da nahe der Sperrstelle nicht genügend gesunder Stein gefunden werden konnte.

Gründungstechnisch hätte diese Bauweise aber angewandt werden können.

4.4.Ausschreibung und Vergabe

Zur Ausschreibung kam schließlich die Variante 1. Die erste Ausschreibung blieb aufgrund des strengen Lastenheftes aber ohne Bieter. Eine zweite Ausschreibung des gleichen Projektes findet neben der Firma Skoda von Pilsen das Interesse eines deutschen Konsortiums. Durch eine Regelung, die auch die Zahlung in Form von Landesprodukten vorsieht, ist das Angebot der deutschen Firmen günstiger und das Konsortium erhält den Zuschlag. Mit Datum vom 15. April 1937 wird in Montevideo der Vertrag zwischen der Generaldirektion der UTE und der deutschen, aus fünf Firmen bestehenden Gruppe unterschrieben. Das Konsortium bestand aus den Firmen Siemens - Schuckert und A.E.G. für den elektrischen Teil, Voith für die Turbinen und die Geopé S.A., Buenos Aires und die Siemens-Bauunion für den baulichen Teil. Die Bauarbeiten wurden daraufhin unverzüglich durch die Geopé und die Siemens-Bauunion in Angriff genommen.

5. Bauabschnitte

Die Wasserkraftanlage besteht aus verschiedenen Bauwerksteilen. Diese lassen sich vom rechten Flussufer ausgehend in folgende funktionelle Aufteilung gliedern. Nach einer 44 m langen Schwergewichtsmauer beginnt der 413 m lange Hauptteil der Sperre zunächst mit dem Kraftwerksteil. Hinter dem Kraftwerk sind die Turbinenausläufe und die Pfeiler der 165 KV Transformatoren-Station. Vor dem Kraftwerk steht die Staumauer mit einer Länge von 138 m, welche sich aus vier Normalpfeilern von je 12,50 m und acht Einlaufpfeilern von je 11,0 m Breite zusammen setzt. Die Staumauer ist als Pfeilerstaumauer mit Strebepfeilern und massiven Rundköpfen (System Nötzli) gebaut worden. Anschließend folgt der Hochwasserüberlauf von insgesamt 162,50 m Länge, der aus 13 Überfallpfeilern von je 12,50 m Breite besteht, an die sich fünf Nötzli-Normalpfeiler gleicher Breite anschließen. Zwei Übergangspfeiler (erleichterte Schwergewichtspfeiler) bilden die Verbindung zum 658 m Schwergewichtsmauerteil des linken Flussufers, gegen dessen Bodendrucke wegen seiner geringeren Höhe und besseren Qualität des vorgefundenen Gründungsfelsens nicht einzuwenden war. Für das gesamte Bauwerk ergibt sich eine Länge von 1.174 m. Die maximale Höhe bis zur Krone beträgt 40 m. Mit seinen 4 Kaplan-Turbinen erzeugt das Kraftwerk eine jährliche Leistung von 630 Millionen kWh. Insgesamt sind für die baulichen Anlagen der Wasserkraftanlage 320.000 m³ Beton und 4.500 t Eisen verbraucht worden.

Bevor jedoch überhaupt mit dem Bau begonnen werden konnte, wurde im ersten Bauabschnitt zunächst die umfangreiche Baustelleneinrichtung und die Vorbereitung der Baugrube realisiert. Um den Abflussmengen während der Bauzeit gerecht werden zu können, ist der Bau des eigentlichen Staudamms in zwei weiteren Bauabschnitten durchgeführt worden. Im ersten Abschnitt wurde die Hälfte des Flussbettes mit Hilfe eines Fangedammes abgeriegelt, ausgepumpt und somit eine Baufläche von etwa 25.000m² geschaffen. Das Wasser floss dadurch seitlich ab und konnte sich am anderen Ufer ein neues Bett schaffen. In diesem Abschnitt wurden innerhalb des Fangedammes der erste Teil der Pfeilerstaumauer mit den aufwendigen Gründungsarbeiten mit der Herdmauer, die Einlaufbauwerke, das Kraftwerk und ein Teil des Hochwasserüberfalls mit dem anschließenden Tosbecken gebaut. Im Bereich des Überfalls wurden planmäßig Teile der Rundköpfe und Überfalldecke weggelassen, um fünf provisorische Durchflussöffnungen für den Wasserabfluss bei der folgenden Sperrung des restlichen Flussbettes im zweiten Bauabschnitt zu gewährleisten. Für den zweiten Bauabschnitt des Damms wurde der Teil des Fangedammes entfernt, welcher sich direkt vor den ausgesparten Öffnungen befand und Umschließungsdämme für die zweite Baugrube errichtet, welche sich trockengelegt über eine Fläche von 15.000km² ausdehnte. Anschließend wurde der restliche Teil der Sperre errichtet. Der letzte Bauabschnitt stellte die größte Herausforderung dar: die Schließung der

provisorischen Durchflussöffnungen bei Baubeendigung. Diese Arbeit begann bei Niedrigwasser und bedeutet den Beginn des Anstaus. Ein Hochwasser während dieser Bauphase hätte verheerende Schäden angerichtet, weshalb sehr schnell und präzise gearbeitet werden musste.

6. Besondere Herausforderungen

6.1. Baustelleneinrichtung

Wie im dem Punkt „Bautechnische Randbedingungen“ beschrieben, lag die Baustelle in einem schlecht erschlossenen Gebiet. Für den Materialtransport wurde unverzüglich mit dem Bau einer einspurigen Bahntrasse von der Baustelle bis an die Hauptbahn Montevideo-Rivers begonnen. Im nächsten Schritt mussten geeignete Unterbringungen für die 1500 Arbeiter, Facharbeiter und Angestellten geschaffen werden. Es wurden circa 60 Schuppen und Häuser errichtet. Die Bauten wurden in kostengünstiger „Adobe“-Bauweise ausgeführt (luftgetrocknete Lehmziegel mit Strohbeimengung). Es gab ein Gästehaus, Handwerkerbaracken, Schlafsäle der Arbeiter, einen Wasserturm mit Trinkwasserreinigungsanlage, große Speisesäle für die Arbeiter und auch diverse Annehmlichkeiten. Bei einer Gesamtbauzeit von fünf Jahren war es notwendig, den Familien auch Ablenkung und Ausgleich zur Arbeit zu bieten. Es wurden Tennis- und Fußballplätze angelegt, Kasinos, Versammlungsräume und ein Lichtspielhaus gebaut. So bildete sich eine kleine Stadt am rechten Ufer des Río Negro. Es wurde weiterhin eine Ärztliche Überwachungsstation mit Krankenzimmern, erster Hilfe und sogar einem Operationssaal eingerichtet.

Für die Bauarbeiten auf der gegenüberliegenden Flussseite wurde eine ca. 400 m lange Dienstbrücke zur Flussüberquerung gebaut. Durch die bekannten Hochwasser lag die aus Stahlbetonsegmenten bestehende Brücke relativ hoch auf einfachen Stahlbetonpylonen gelagert. Über diese Brücke wurde auch die Stromversorgung von einem Ufer zum anderen geführt.

Für die Erzeugung von Licht- und Kraftstrom wurde ein provisorisches Kraftwerk von 2.500 PS Leistung errichtet, in welchen zwei Krupp und drei Deutz-Dieselmotoren von je 500 PS pro Einheit aufgestellt waren. Es standen demnach am Generator 2.000 PS effektive Kraft zur Verfügung, um die 268 Elektromotoren der Baustelleneinrichtung von insgesamt 3.600 PS Leistung anzutreiben. Im Falle der Vollaussnutzung des Kraftwerkes hätten diese Zahlen im Gleichgewichtsfaktor 55% ergeben. In Wirklichkeit lag dieser Faktor etwas tiefer und konnte zu maximal 45% festgestellt werden. Die Kilowattstunde kostete von 1937 bis 1942 im Mittel 2,8 uruguayische Centavos.

Zum Abpumpen und Sichern der Baugruben, wurden große Pumpenstationen eingerichtet. Für die Transporte von Aushub, Abbruch und Baumaterial, wurden etliche Kilometer Gleis für Züge, diverse Förderbandanlagen und Behelfsbauwerke errichtet. Während des ersten Bauabschnitts musste festgestellt werden, dass nur ein geringer Teil des aus dem Aushub

stammenden Steinmaterials als Zuschlagstoff für die Betonherstellung zu verwenden war. Daher wurde unweit der Baustelle ein Steinbruch aufgemacht. Für die Betonherstellung erfolgte der Bau eines Betonwerks mit Siloanlage, Zementschuppen und weiteren Einrichtungen. Für eine entsprechende Übersicht ist auch ein Baustelleneinrichtungsplan angefertigt worden. Auf die verschiedenen Transportsysteme und technische Ausstattung der Baustelleneinrichtung wird im Folgenden genauer eingegangen.

6.2.Baustellenlogistik

Bei den Aushubarbeiten für das Befüllen der Fangedämme, dem Aushub der Baugrube für die Gründungen, wie auch bei dem provisorisch eingerichteten Steinbruch, fielen eine große Masse an Fels an. Für den Transport stellte man eine Vergleichsrechnung zwischen dem Einsatz von Lastkraftwagen und Schienentransport mittels Lokomotiven an. Letztere Variante erwies sich als wirtschaftlicher. Die Züge bestanden aus Dampflokomotiven mit Rollkippwagen von 90er Spur und 4,5 m³ Fassungsvermögen. Für den Abtransport des Felsaushubs aus der Baugrube wurden die Kippwagen von den Zügen zu einem Schrägaufzug mit endloser Kette gefahren, welcher die Wagen die Steigung auf Kote +80,0 beförderte, wo diese anschließend zu neuen Zügen zusammengestellt wurden. Je nach Beschaffenheit wurde der Fels auf die Materialkippe für Aussatzmaterial gefahren, oder in die Brechanlage, falls es sich um brauchbaren, gesunden Fels handelte. Der im Steinbruch gewonnene Fels wurde ebenfalls mit Zügen zu den Brecher- und Mahlanlagen transportiert. Diese hatten im Vor-Backenbrecher eine Maulweite von 1,30 x 1,10 m und waren für eine Stundenleistung von 80 m³ Steinmaterial bemessen. Da der Fels im Steinbruch gesprengt wurde, mussten die Felsbrocken daher nicht mehr zu stark zerkleinert werden, bevor sie in die Brecheranlage kamen. Nach dem Durchlaufen einer Waschtrommel wurde das Gut mit Förderbändern, nach Korngrößen sortiert, untertunnelten Vorratshaufen mit 9000m³ Lagerfläche zugeführt. Durch Abzugstrichter wurde das Material mit einem schwenkbaren Transportband dann drei Abmess-Silos zugeführt. Jedes Silo wurde mit je einer Korngröße beschickt, 0-7, 7-15 oder 15-60 mm. Mit einem weiteren, langen Transportband förderte man Fluss-Sand von seinem Ausladeort am oberwasserseitigen Fangedamm der Baugrube I, ebenso nach Korngrößen sortiert, zu den Vorratsstufen und schließlich von dort wieder in die Silos. Durch eine Druck-Knopfsteuerung konnte die Betonmischanlage automatisch mit einer, über Messwagen an den Auslaftaschen der Silos, genau nach Volumen abgemessenen Zuschlags-Mischung beschickt werden. Ebenso automatisch erfolgte die Beschickung der Mischanlage mit Zement. Der Zementschuppen wurde über ein normalspuriges Gleis des Vollbahnanschlusses der Baustelle mit Zement als loser Ware oder Sackware beliefert. Im Schuppen wird er von Hand auf eine Transportschnecke geladen, die den Zement direkt einer automatischen Zementwaage zuführt. Diese Waage wird mit der gleichen Druck-Knopfsteuerung bedient wie die Zuschlagstoffsilos. Wie effizient und

ausgeklügelt die Baustelleneinrichtung war, zeigt auch der Einbau einer Luftreinigungsanlage und einer Zementsackreinigungsmaschine im Zementschuppen. Die Luftreinigungsanlage zog die zementhaltige Luft mit Ventilatoren ab, welche mit Zyklonen gekuppelt waren, die ihrerseits die Rückgewinnung des Zementstaubes ermöglichten. Die Einbaukosten dieser Anlage hatten sich schnell durch den Wert des zurückgewonnenen Materials amortisiert. Die Betonmischanlage war mit zwei Mischmaschinen von je 1.500 l Trommelinhalt ausgestattet, und konnte durch alternierende Beschickung der 2 Trommeln eine ununterbrochene Betonfabrikation mit einer maximalen Stundenproduktion von 90 m³ Beton leisten. Für den effizientesten Betontransport wurden ebenso Vergleichsrechnungen angestellt. Es wurde als eine Variante die Betoneinbringung mittels Kabelkränen untersucht, welche sich jedoch nicht für das lange und verhältnismäßig flache Geländeprofil eignete. Auch der mögliche Einsatz von Betonpumpen für den Transport des Mischgutes wurde erwogen, jedoch wegen der zu großen Transportentfernungen fallen gelassen. Als beste Variante stellte sich erneut der Schienentransport heraus. Von der Mischanlage in Bodenklappkübel verladen, welche lose auf 60er Spur-Plattformwagen stehen, wurde der Beton durch Diesellokomotiven zur Baustelle transportiert. Durch provisorische Trassen, die teils nur auf geschütteten Dämmen, teils auf provisorischen Brücken in Stahlbetonbauweise verliefen, fuhren die Züge bis in die Baustelle. Die Kübel wurden dort direkt von fünf Turmdrehkränen von den Wagen genommen und der Beton zu den entsprechenden Betonierabschnitten gehoben. Weiterhin kamen aber auch im Stahlbau ausgeführte, schienenverfahrbare Betonierbrücken für die Betonarbeiten zum Einsatz. Auch die entsprechenden Schalungen waren teilweise verfahrbar. Allerdings waren deren Montagevorrichtungen der Laufschiene, sowie die Arretierungsvorrichtungen unvorteilhaft und mussten in der Bauwerkstatt geändert werden. Durch speziell für die Bauteile gefertigte Stahlschalungen versprach man sich eigentlich einen optimierten Bauablauf beim Schalen. Der Einsatz der großflächigen Schalelemente in Kombination mit verfahrbaren Schälwagen und Kranversatz war sehr fortschrittlich. In Deutschland wurde zwar bereits 1930 in Deutschland eine erste Stahlpaneel-Schalung entwickelt, diese kam aber vor allem aus Kostengründen selten zum Einsatz.¹⁰ Daher konnte trotz der besseren Abläufe mit den Stahlschalungen kein wirtschaftlicher Vorteil gegenüber den traditionellen Holzschalungen erzielt werden. Aufgrund ihres Nachgebens gegen die erheblichen, durch das Rütteln des Betons hervorgerufenen Schalungsdrücke stellten sie sich sogar als negativ heraus.

¹⁰ Roland Schmitt; Die Schalungstechnik - Systeme, Einsatz und Logistik; Ernst & Sohn 2001

6.3.Maschinenpark

Neben der fest installierten Baustelleneinrichtung und der umfangreichen Baustellenlogistik kam auch ein erheblicher mobiler Maschinenpark zum Einsatz. Für die gesamte Bauausführung wurden aus Deutschland Baumaschinen im Wert von 5 Millionen Reichsmark eingeführt.¹¹ Für das Einbringen der Fangedammspundbohlen wurde ein Raupenfahrzeug mit Gittermastausleger verwendet. Durch die verschiedenen Ausleger konnte das Gerät sowohl als Seilzugbagger, aber auch als Kran eingesetzt werden. Kombiausleger ermöglichten sogar das gleichzeitige Arbeiten als Seilzugbagger und Kran mit Seilwinde, wodurch sich dieses Gerät als äußerst effizient und praktisch herausstellte. Die Spundbohlen wurden mit Hilfe eines per Kran aufgesetzten Schnellschlaghammers eingebracht. Ein speziell für diese Baustelle entwickelter Kran mit Derrickausleger erwies sich hingegen als schwerfällig und unhandlich. Zum Auspumpen der Baugrube wurden große Pumpenanlagen in Betrieb genommen, welche zur Sicherheit während der gesamten Bauphase in Bereitschaft blieben und nach Hochwasserüberflutungen zum Auspumpen der überschwemmten Baugruben immer wieder zum Einsatz kamen. Für den Baugrubenaushub galt es zuerst denn Fels zu brechen, was unter zu Hilfenahme des Sprengstoffs Gelignit und dem Einsatz von 76 Druckluftschlämmern mit verschiedenen Gewichten zwischen 15 und 38 kg gelang. Die Druckluft erzeugte eine zentrale Kompressorenstation mit fünf Kompressoren von je 11 m³ angesaugter Luftleistung pro Minute. Der Felsaushub wurde durch sieben Rauben-Löffelbagger mit einem Löffelinhalt zwischen 0,75 und 2,0 m³ verladen. Diese wurde von der Duisburger Firma Demag geliefert. Neben den Dampf- und Diesellokomotiven kamen laut Bildquellen allerdings auch LKWs zum Einsatz. Auf einem Bild aus dem Jahr 1941 ist ein Daimler-Benz-Diesel LKW erkennbar. Vermutlich ein LZ 8000 aus dem Jahr 1935 mit 8 t Nutzlast. Im Vergleich zu seinerzeit in Betrieb befindlichen Fahrzeugen, stellte dieser durch sein vergleichsweise sehr leichtes, aber nutzlaststarkes Fahrgestell, seine außerordentliche Wendigkeit und seines geringen Verbrauchs, einen maßgeblichen Fortschritt dar.¹² Für die Gewinnung des Flusssandes wurden Saugbagger eingesetzt. Im Steinbruch kamen große Seilschlagbohrmaschinen zum Einsatz, um Löcher für den Sprengstoff zu bohren. Die dort vorgenommenen Abbrucharbeiten wurden mit einem mittleren Bohrer-Stahlverbrauch von 11 g und 126 g Sprengstoff auf den gewonnenen Kubikmeter Fels durchgeführt.

Die markantesten Baugeräte innerhalb der Baugrube waren die fünf Turmdrehkrane mit einem Aktionsradius von 25-30m. Diese wurden insbesondere für die Betonierung genutzt und hatten eine Stundenleistung von 10-15m³ Beton pro Einheit. Die Kräne waren überwiegend schienenverfahrbar und mit einem Wippausleger nach dem „System Wolff“.

¹¹ Hans Meyer-Heinrich; Philipp Holzman Aktiengesellschaft; Frankfurt am Main 1949

¹² http://www.reflektion.info/html/1006_200308_1_db-sattel.html

Stand:2012-19-01

1913 stellte die Firma Wolff aus Heilbronn auf der Leipziger Messe den ersten schnell montierbaren und fahrbaren Turmdrehkran mit Wippausleger der Welt vor. Die Firma erhielt von der Messe für „ihre technische Glanzleistung zum Ruhme des Vaterlands“ eine Goldmedaille.¹³ Vorteil dieser Bauform ist die schnelle Montage, der geringe Platzbedarf und die hohe Wendigkeit bei beengten Verhältnissen. Weitere sehr wichtige Baumaschinen in der Baugrube waren die Geräte zur Herstellung der Sicherung gegen Unterströmung der Sperre durch Bohrlochinjektionen. Bei den Bohrarbeiten wurden 9 Drehbohrmaschinen Ingersoll-Rand „Coroc“ Md 2 für 2 3/8“ für die Kernbohrungen verwendet. Diese erzielten eine Mittelleistung von 11cm Bohrfortschritt pro Maschinenstunde. Auf Grund der schlechteren Bohrergergebnisse mit Schrotbohrungen entschied man sich für diamantbesetzte Bohrkronen. Diese waren mit „Bortz“ besetzt. Bortz ist ein richtiger, dunkel gefärbter Diamant, der nur seiner Fehler wegen für Juwelierarbeiten ungeeignet erscheint. Bei Bohrköpfen werden selten Bortz größer einer Erbse, oder schwerer als 5 Karat verwendet und meist an die äußere Kante der Bohrkronen gesetzt, da sie auf Grund der fast runden Form weniger dem Einklemmen in etwaigen Felsspalten ausgesetzt sind.¹⁴ Für die Injektionsarbeiten wurden Spezialpumpen der Svenska Diamantbergborrnings-Aktiebolaget, Stockholm verwendet, mit welchen Zementmilch in die Bohrlöcher eingepresst wurde. Die Leistung einer solchen Pumpe wurde mit 51 cm abgepresster Bohrlochlänge pro Stunde und Gerät ermittelt. Insgesamt wurden im Mittel 344 kg Zement pro laufenden Meter Bohrloch eingepresst. Die höchste verbrauchte Zementmenge pro lfm Bohrloch wurde in Flussmitte unter den Überlaufpfeilern mit 20.375 kg festgestellt. Solche hohen Verbräuche ließen Rückschlüsse auf das Bestehen unterirdischer Hohlräume zu. In diesen Fällen war es notwendig die Konzentration der Zementmilch anzureichern, von 10% Zementgehalt, nach und nach, bis zu 50%, und als letzte Lösung Sägespäne beizumischen. Die Beigabe von Sand erwies sich als unzweckmäßig, da dieser die Pumpen und Rohrleitungen leicht verstopfte. Unter der Río Negro-Sperre sind auf diese Weise mehr als 3000 t Zement in den Untergrund gepresst worden. Unter Betrachtung des eingesetzten Maschinenparks ist eindeutig, dass die Verwendung moderner und leistungsfähiger Maschinen u.a. ausschlaggebend für ein qualitativ hochwertiges, ökonomisches und schnelles Ausführen der Bauleistungen war.

¹³ <http://de.wikipedia.org/wiki/Wolffkran>

Stand:2012-19-01

¹⁴ http://www.archive.org/stream/polytechnischesj268stut/polytechnischesj268stut_djvu.txt

Stand: 2012-19-01

6.4.Hochwasser

Auf Grund der geographischen, geologischen, sowie klimatischen Bedingungen, war die Gefahr schnell kommender Hochwasser bekannt. Dieses Risiko wurde auch entsprechend in der Planung und Kalkulation berücksichtigt. Allerdings kamen die Hochwasser teilweise sehr überraschend und mit einer unerwarteten Gewalt, wodurch diverse Überflutungen der Baustelle und damit verbundene Probleme und Schäden auftraten. Daher war vor allem die umfassende Sicherung der Sperre gegen jede mögliche unterirdische Unterströmung nach dem Anstau und unter maximaler Belastung in Hochwasserfällen von größter Wichtigkeit. Jede noch so unbedeutend kleine Durchsickerung kann rasch zu größeren Ausspülungen führen und damit die Standsicherheit gefährden. Dies zeigte eindrucksvoll ein Hochwasser im Jahr 1941, dessen unkontrollierte Wassermassen die Steinschüttung der landseitig an die Fangedämme anschließenden Schwergewichtsmauer wegspülten und deren Betonseelen frei legte. Dabei wurden durch die enormen Wasserkräfte auch Betonwiderlager hochgehoben und zerschmettert.



Abb. 4: Hochwasserschäden an den Anschlussfangedämme des zweiten Bauabschnittes an das linke Ufer.

Auf Grund dieser Gefahren wurde ein Bohr- und Injektionsprogramm für den Untergrund der Sperre entwickelt und präzise umgesetzt. Trotz dieser Sicherheitsmaßnahme ist zusätzlich noch mit einem maximalen Auftrieb unter der Gründungssohle von 40% des größten Staudrucks bei Festlegung der Bauwerksabmessungen gerechnet worden. Für die planmäßige Sicherung der Sperre wurden zwei Arten von Injektionen durchgeführt: Injektionen von 3 bis 8 m Tiefe unter die Pfeilergrundplatten zum Zwecke der Bodenverfestigung und das Ausbilden einer Injektionsschürze unter der wasserseitigen Herdmauer der Sperre, welche mit einer Injektionstiefe von 20 bis 25 m bis zur fünften Basal-Schicht eingepresst wurde. Hierfür erfolgten 450 Bohrungen mit 8.950 lfm Totallänge. Dass eine Herdmauer und zusätzlich noch umfassende Zementeinspritzungen vorgenommen wurden zeigt, dass die Anforderungen schwierig waren, da schon ab 1931 oftmals zu Gunsten der günstigeren Zementinjektion gänzlich auf das Ausbilden einer Herdmauer verzichtet wurde.¹⁵ Diese Maßnahme war jedoch notwendig, da durch piezometrische Ablesungen tieferliegende Öffnungen und Risse im Baugrund festgestellt wurden, die mit flussaufwärts über zehn Kilometer entfernt gelegenen Stellen des Flussbettes in direkter Verbindung standen. Zur ständigen Kontrolle der Dichtigkeit sind in der gesamten Sperre längslaufende Kontrollgänge kurz oberhalb der Gründungskote vorgesehen worden. Von diesen Kontrollgängen aus könnten auch nachträglich noch Bohrungen und Injektionen unterhalb der Mauer vorgenommen werden.

Weiterhin wurde besondere Sorgfalt auf die Ausbildung des Hochwasserüberfalls gelegt. Er besteht aus 12, durch stromlinienförmige Pfeiler getrennte Kammern und ist so bemessen, dass über ihn Hochwasser von bis zu 5.500 m³/s ohne Schwierigkeit abfließen können. Im Normalbetrieb bleibt der Überlauf durch 5 m hohe, zwischen den Pfeilern laufende Gleitschütze geschlossen, deren Unterkante in geschlossenem Zustande auf der Überlaufschwelle (Kote + 76,0) aufsitzt, während die Oberkante den Stauwasserspiegel +80,0 um 1 Meter überragt. Jedes dieser 20 t schweren Eisenschütze wird autark durch einen eigenen 3 PS Motor angetrieben, der imstande ist, das Schütz gegen den anstehenden Wasserdruck in 15 Minuten zu heben oder zu senken. Der eigentliche Überfall besteht aus einer massiven Überfallschwelle, an die unterstromseitig eine 1 Meter starke, armierte Überfalldecke anschließt. Diese endet in einem 26 m langen Tosbecken mit Rehbock'scher Energieversorgungs-Schwelle. Die genaue Form der Übergangsschwelle und Überfalldecke wurde ausgiebigst an Modellversuchen studiert, um möglichst gleichmäßige Wasserdrücke auf das Überfallwehr zu erzielen und jegliches eventuelles Abheben des Wasserfadens zu vermeiden, welches schwere dynamische Beanspruchungen der Konstruktion zur Folge haben kann. Ebenso wurde die Energievernichtung durch die Zahnschwelle des Tosbeckens an Modellversuchen kontrolliert. Der gesamte Staudamm wurde auf ein Tausendjähriges Hochwasser ausgelegt, das bereits 1959, also 14 Jahre nach der Fertigstellung des

¹⁵ Bauingenieur 1931 Heft 26 S.481

Staudamms eintrat, als der Wasserspiegel um mehr als 4 m über die Wehrkrone ragte.¹⁶ Die schnellen Hochwasser während der Bauzeit waren aber vor allem auch für die Fangedämme problematisch, worauf im Folgenden näher eingegangen wird.

6.5.Fangedamm – „cellular cofferdams“

Das System der „cellular cofferdams“ fand seinerzeit vorrangig in Frankreich und Nordamerika¹⁷ Anwendung und wurde in dieser Dimension erstmalig bei einem Bauvorhaben in Südamerika genutzt. Für den Bau des Wasserkraftwerks Rincón del Bonete kamen geschüttete Zellenfangedämme zum Einsatz. Diese eignen sich besonders bei einer Gründung auf Fels, da aus statischen Gründen keine Einbindetiefe erforderlich ist. Der Fangedamm setzt sich aus zylindrischen, mit Spundbohlen gebildeten Zellen zusammen, die mit Kies und Lehmsand gefüllt wurden. Dabei werden Hauptzellen durch Nebenzellen miteinander verbunden. Normalerweise kommen nichtbindige Böden zum Einsatz. Durch die Beigabe von Lehm konnte aber vermutlich noch einmal eine bessere Dichtung und somit eine geringere Wasserdurchlässigkeit der Zellen erreicht werden. Nachdem der Damm geschlossen war, wurde das Wasser ausgepumpt und die Arbeiten in der Baugrube konnten beginnen. Die Hauptzellen der Fangedämme wurden mit 12 m Durchmesser und 12,50 m Höhe ausgeführt, einem Verhältnis welches genügende Sicherheit gegen Kippgefahr bot. Für die Erstellung einer Zelle wurden mit Hilfe eines Krans Spundbohlen um ein leichtes Führungsgerüst herum gestellt und einzeln gegen den Fels angeschlagen. Dann wurde etwa ein Drittel der Zelle gefüllt, um das Führungsgerüst herausnehmen zu können und schließlich die Zelle vollständig aufgefüllt. Anschließend fuhr der Kran auf die fertiggestellte Zelle vor und begann mit dem Bau der nächsten. Darin zeigt sich ein weiterer Vorteil. Da die Zellen durch das voneinander unabhängige Verfüllen gebaut werden können, war die Standsicherheit während des Dammbaus stets gewährleistet. Jede neue Zelle schnürte das Flussprofil mehr ein und erhöhte die Durchflussgeschwindigkeit des Wassers. Die Strömung spülte im verbleibenden Querschnitt Sand aus und grub sich so ein neues Flussbett. Ehe das deutsche Konsortium damit begann diese Bauabschnittunterteilung in der beschriebenen Weise vorzunehmen, beauftragte es die Preußische Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffsbau in Berlin, für seine Rechnung Modellversuche in großem Maßstabe durchzuführen. Untersucht wurden dabei die sich einstellenden Abflussverhältnisse und die topographischen Veränderungen. Die selbstständige Versuchsanstalt hatte im Herbst 1903 in Tiergarten auf der Schleuseninsel im Landwehrkanal ihre Arbeit aufgenommen. Sie stellte mit diversen Prüfanlagen seit da an eine wichtige deutsche Anstalt zum Eichen von

¹⁶ New Scientist; 1966, (No. 328), S. 447

¹⁷ Der Bauingenieur; 1940, Heft 35/36, S. 282

Wassermessgeräten und dem Durchführen von diversen Versuchen für wasserbauliche und schiffsbauliche Zwecke dar.¹⁸ 1921 wurde der Standort mit einer neuen Halle für Werkstätten, Büros und Lagerräume ausgebaut. 1927–1929 verlängerte man die Insel und es erfolgte ein Ausbau der Schlepprinne Richtung Westen. Damit konnten noch umfangreichere Versuche mit realitätsnahen Versuchsaufbauten vorgenommen werden.¹⁹ Die Ergebnisse für die sich einstellenden Abflussverhältnisse stimmten genau mit der später festgestellten Wirklichkeit überein.

Ein Schwachpunkt der unverankerten Zellenfangedämme ist ihr schlechter Widerstand gegen Gleiten. Die Spundbohlen passten sich den Unebenheiten des Flussbettes aber perfekt an und erhöhten dadurch die Gleitsicherheit des Damms. Ohne diese Verzahnung der Spundbohlen im Flussbett ergab sich die rechnerische Gleitsicherheit des Fangedammes, mit Berücksichtigung des Auftriebes, zu etwas weniger als 1,5 für höchsten Außenwasserstand. Neben der guten Verzahnung und den dichten Fels trug der geringe Wasserdurchgang durch die Zellen, von etwa 30 l/s bei Normalaußenwasserständen, zu optimalen Bedingungen für die Arbeiten im ersten Bauabschnitt bei.

Hierfür war auch die gute Eignung der gewählten Spundbohlen verantwortlich. Die hohen Ringzüge in der Spundwand, die durch den aktiven Erddruck des Füllgutes auftreten, machten die Verwendung einer Spezialspundbohle von geringem Widerstandsmoment und hoher Querkzugfestigkeit notwendig. Man entschloss sich damals für die Anwendung des Profils SP 6 der Bethlehem Steel Company, das eine besonders kräftige Schlosskonstruktion aufwies, um die infolge der kleinen Zugexzentrizität auftretenden Biegemomente aufzunehmen.

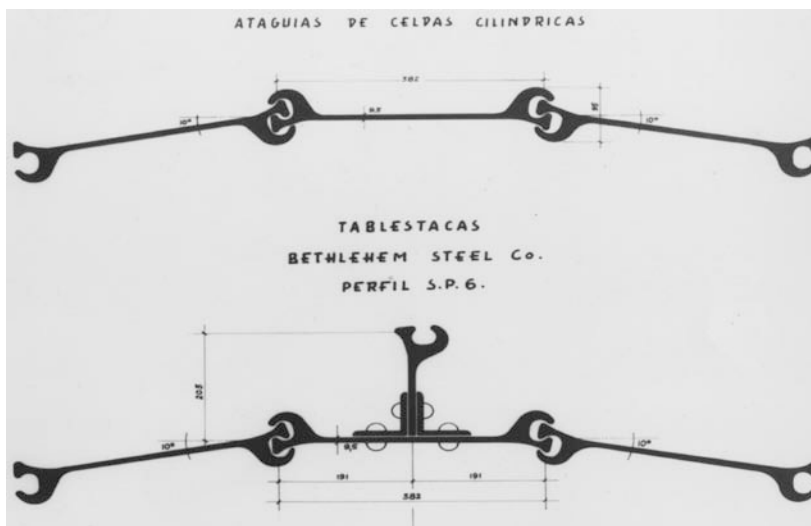


Abb. 5: Detail Anschluss der Spundwandbohlen

¹⁸ http://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2010/9114/pdf/ZfB_1906_01-03.pdf

Stand:2012-01-22

¹⁹ http://www.luise-berlin.de/lexikon/mitte/v/versuchsanstalt_fuer_wasserbau_und_schiffbau.htm

Stand:2011-12-11

Das größte Problem zeigte sich allerdings darin, dass sich Hochwasser mit Wasserständen oberhalb der Dammkronen einstellten. In diesen Fällen musste die Baugrube mit eigens dafür vorgesehene Überlaufleitungen vorab künstlich überschwemmt werden. Dadurch wurde ein Wasserbett geschaffen, um den Schlag der herabstürzenden Flutmassen und deren vernichtende Wirkung auf die Gründung und die bereits fertiggestellten Bauteile abzumindern. Neben erheblichen Schäden an den Bauteilen kamen aber zerstörte und weggespülte Baustelleneinrichtung und Maschinen dazu. Am bedrohlichsten waren jedoch die Schäden an den Zellenfangedämmen, welche durch die Überflutung zu einem Drittel ausgeräumt wurden. Damit verloren Sie einen erheblichen Teil ihrer Kippsicherheit, was angesichts hoher Außenwasserstände zum Dambruch führen konnte. Auch die Sicherung der Dammkronen mit einer Packlage half nicht gegen die Kraft der Fluten. Die Dämme ließen sich jedoch schnell reparieren.

6.6.NÖTZLI – Pfeiler

Die beschriebene Pfeilerstaumauer mit den Halbrundköpfen nach System Nötzli zeichnet sich durch ihren geringen Maximalbodendruck von 4 kg/cm^2 aus, was durch den schwierigen Baugrund von Vorteil war. Die Besonderheit dieser Bauweise ist deren einwandfreies statisches Verhalten. Die Kräfte aus dem Wasserdruck werden durch die Halbrundköpfe gebündelt und dann zentrisch in die 2 m breiten Pfeiler weiter geleitet. In den Pfeilern laufen die Kräfte mit zunehmender Neigung nach unten und werden relativ steil in die stark armierten Pfeilergrundplatten eingeleitet, welche diese gleichmäßig in den Baugrund verteilen. Durch die reine Aufnahme und Weitergabe von Druckkräften ist weder in den Pfeilern, noch in den Halbrundköpfen Bewehrung für statische Zwecke verbaut worden. Lediglich zwischen Rundkopf und Pfeiler wurde eine konstruktive Bewehrung vorgesehen. Es kann zwischen 3 verschiedenen Ausführungsformen der Rundkopfsperrenpfeiler unterschieden werden. Die Normalpfeiler mit 12,50 m Breite. Die Überfallpfeiler von 12,50 m Breite im Mittelteil der Sperre mit Übergang zur Hochwasser-Überlaufschwelle. Und die Einlauf-Zwillingspfeiler von $2 \times 11,0 = 22$ Metern Breite vor dem eigentlichen Kraftwerksteil des Wasserkraftwerkes. Die Pfeilerrundköpfe sind unabhängig voneinander und ohne konstruktive Verbindung. Einzige Verbindung ist eine Dichtung zwischen den Nachbarrundköpfen, bestehend aus 2 Dichtungselementen. Einmal eine 2 mm starke Kupferblech-Dichtung und eine zusätzliche Asphalt-Dichtung mit zentralem Blechrohr. Durch die Einführung eines Heizstabes in das Rohr kann die Asphaltmasse nachträglich erwärmt und damit eventuell auftretenden Undichtigkeiten entgegengewirkt werden. Das einwandfreie statische Verhalten der Rundköpfe wurde durch fotoelastische Versuche an Trolon-Modellen kontrolliert. Trolon ist ein 1924 in Deutschland neu entwickelter Kunststoff,

welcher sich vor allem für Simulationen von Bauteilen eignet.²⁰ Diese Versuche hatten einige kleine Abänderungen des Rundkopfquerschnittes zur Folge. So wurden zum Beispiel die einspringenden Ecken am Rundkopfansatz ausgerundet um eine Druckansammlung an diesen Stellen zu vermeiden.

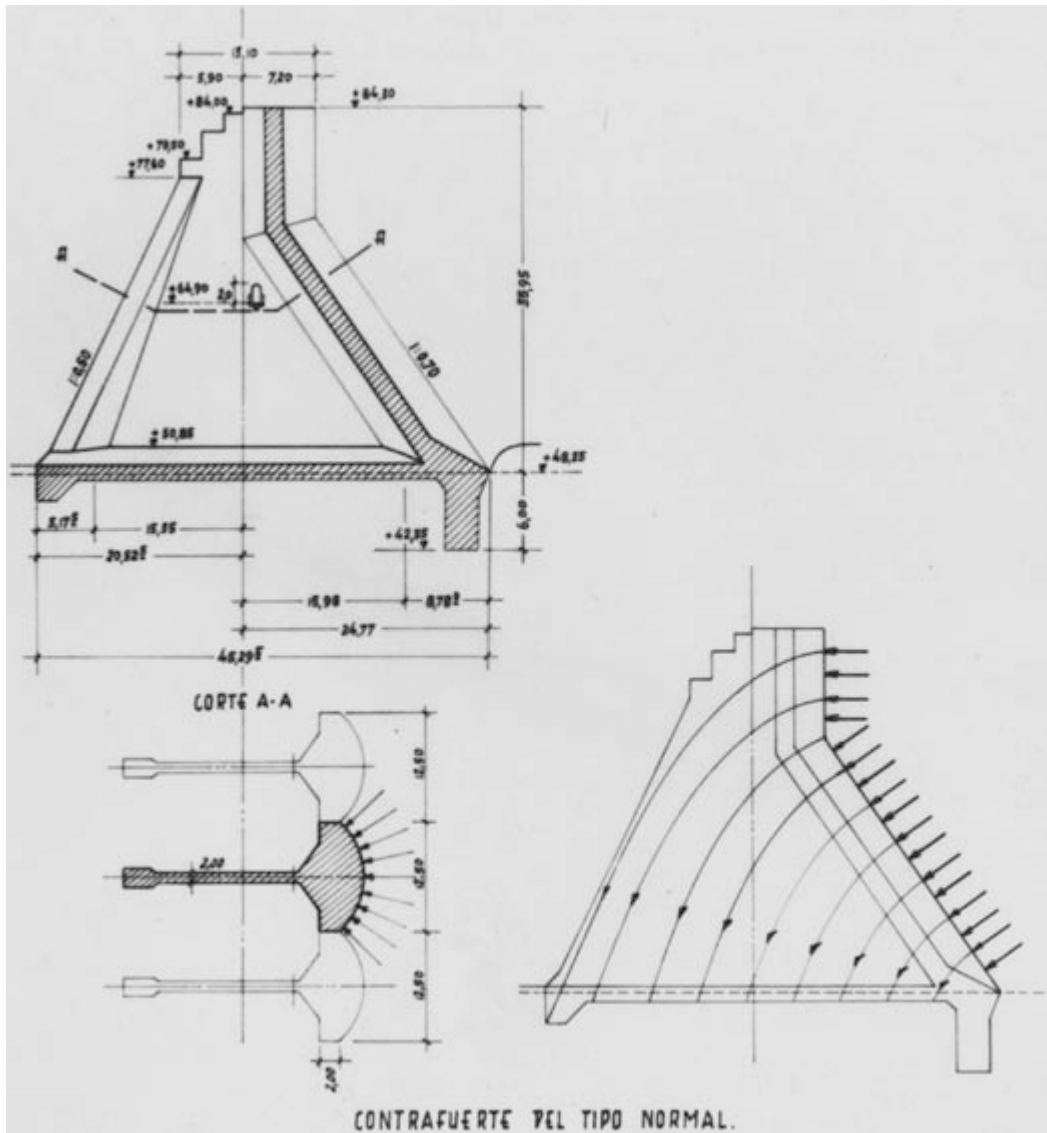


Abb. 6: Aufbau der Pfeilerstaumauer und statisches Verhalten/Ableitung der Kräfte in den Baugrund

²⁰ <http://www.kunststoff-museum.de/index.php?id=29>

6.7. Hydratationswärme

Zu Baubeginn zeigten sich an den Sperrrundköpfen nach dem Abbinden Längsrisse. Diese brachten die Gefahr von Schäden durch hohen Innenwasserdruck mit sich und waren unerwünscht. Nach kurzen Untersuchungen der möglichen Gründe wurde festgestellt, dass die Risse aus inneren Spannungen durch Temperaturunterschiede resultierten. Im Innern der Rundköpfe kamen hohe Abbindetemperaturen zustande, die ungefähr am vierten Tage nach der Betonierung ihren Höchstwert von etwa 50°C erreichten. Diese Spannungen wurden noch dadurch vergrößert, dass sofort nach der Betonierung mit der Nachbehandlung des Betons durch Oberflächenberieselung mit sehr kaltem Wasser begonnen wurde. Die dabei auftretenden inneren Wärmespannungen überschritten die Zugfestigkeit des Betons. Nach Erlangen dieser Erkenntnis wurden sofortige Maßnahmen für die weiteren Rundkopfbetonagen ergriffen. Durch Einlegen von Kühlschlangen konnten die Abbindetemperaturen wesentlich reduziert und damit Rissbildungen verhindert werden. Die Kühlschlangen wurden als verlorenes System vor der Betonage in Form von Blechrohren mit 50 mm Durchmesser in die Köpfe eingebracht. Über eine zentrale Pumpstation wurde kaltes Wasser (Flusswasser im Winter und Rohrbrunnenwasser im Sommer) durch die Leitungen gepumpt. Die Kühlung wurde in jedem Betonierabschnitt von 1,30 bis 1,80 m Höhe vorgenommen. Weiterhin wurden die Höhen der einzelnen Betonierabschnitte reduziert, Spezialzement mit geringen Abbindetemperaturen verwendet und die Betonierungen hauptsächlich während der Nachtstunden durchgeführt, um geringe Basistemperaturen zu erzielen. Zusätzlich wurde zur Sicherheit eine leichte, konstruktive Querarmierung eingelegt.



Abb. 7: Kühlschlange im Rundkopf

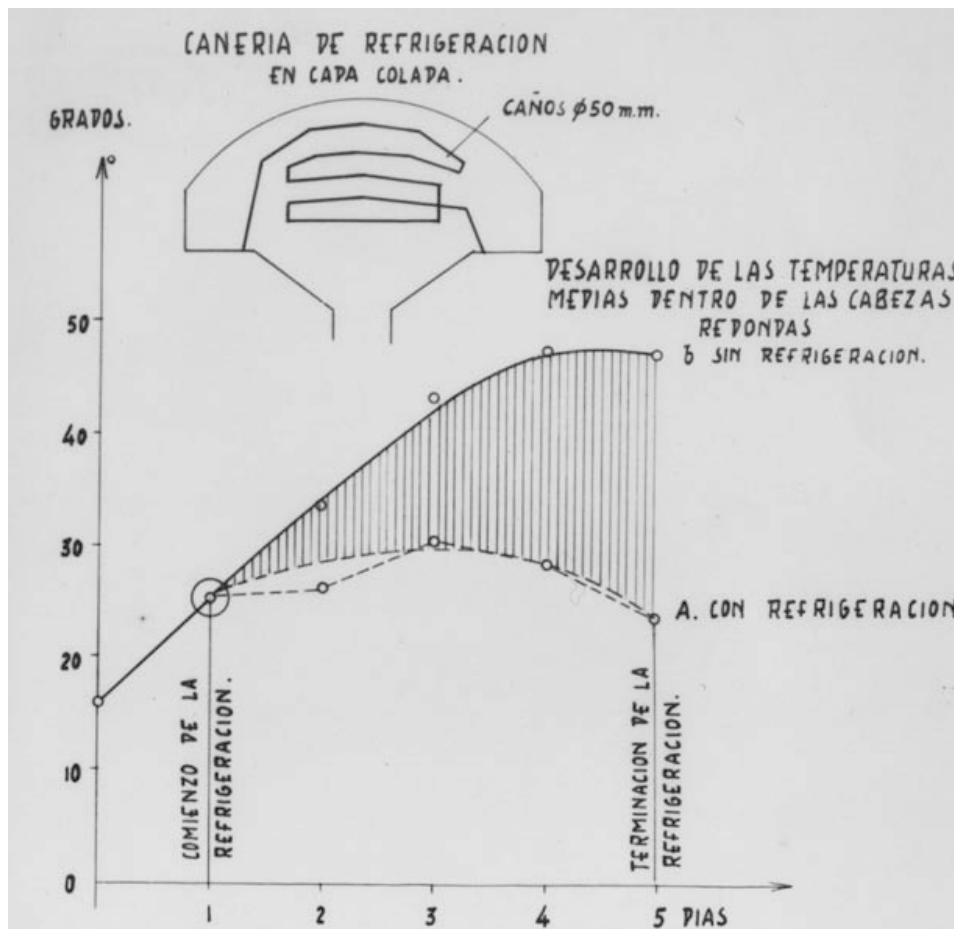


Abb. 8 Die Leitungsanordnung im Pfeilerkopf. Das Diagramm stellt vergleichend den Temperaturverlauf dar. Die untere Kurve zeigt den deutlich niedrigeren Temperaturverlauf bei Einbau der Kühlleitungen.

Das Problem der Hydratationswärme bei massigen Bauwerken war Ingenieuren schon bekannt. Es führt zu unerwünschter Rissbildungen und die natürliche Auskühlung von Massenbetonteilen kann mehrere Jahre dauern²¹. Zwar spielte die Wärme bei kleineren Bauwerken keine große Rolle, aber umso mehr bei z.B. Talsperren. So hat man beim 1935 fertiggestellten Hoover-Damm und bei der Pin Canyon-Sperre 88 Zemente an der Universität California auf Hydratationswärme geprüft um dann Grenzwerte für die Wärmeentwicklung der Zemente vorzuschreiben. Bei den Untersuchungen ist man zu folgenden Ergebnissen gekommen:

- a) die Größe der Hydratationswärme ist von der chemischen Zusammensetzung des Zementes abhängig,
- b) dass eine größere Mahlfeinheit und ein höherer Wasser-Zement-Wert zu höheren Anfangswärmeentwicklungen führen,

²¹ Der Bauingenieur; 1935, Heft 9/10, S. 112

- c) Veränderung der Klinkerzusammensetzung: Zemente mit einem niedrigen Tricalciumaluminat (und Tricalciumsilikat²²)-Anteil haben eine gute Festigkeit im Verhältnis zur Hydratationswärme, und
- d) dass eine niedrige Temperatur bei der Lagerhaltung die Hydratationswärme erhöht

Die Verfahren waren 1935 aber noch nicht neu, sondern bereits 1902 von F. Hart erwähnt.²³ Trotzdem war dieses Wissen seinerzeit noch nicht weit verbreitet und daher galt es auch noch weitere Untersuchungen anzustellen. Beim Bau der Pfeilerstaumauer untersuchte man deshalb neben dem Kühlsystem direkt noch weitere Möglichkeiten zur Behebung des Rissproblems. Es wurden die optimalen Höhen der einzelnen Betonierabschnitte untersucht, die Verwendung von Spezialzement mit geringen Abbinde Temperaturen erfolgreich getestet und organisatorische Maßnahmen, wie die Betonierung während der Nachtstunden, um geringe Basistemperaturen zu erzielen, als erfolgreiche Maßnahmen eingesetzt. Durch die Erfahrungen in Uruguay, sowie bei verschiedenen Projekten in Deutschland, wurden in den folgenden Jahren diverse Forschungsvorhaben zum Thema Hydratationswärme durchgeführt.

Die vielen Besonderheiten dieses Bauwerks und der Baudurchführung zeigen, dass das Bauen schon seit jeher unter den Aspekten Zeitdruck, Kostendruck und hohen Qualitätsansprüchen steht. Daher sind die Ingenieure gezwungen stets nach Optimierungen zu suchen, um noch bessere und wirtschaftlichere Lösungen zu entwickeln. Der Bau der Wasserkraftanlage zeigt dies beeindruckend und ist ein Beispiel für innovatives Bauen, den Einsatz moderner Maschinen und die Gewinnung und Anwendung neuester Erkenntnisse in den Bereichen Technik, Bauverfahren und Organisation.

²² Der Bauingenieur; 1936, Heft 23/24, S. 234

²³ Der Bauingenieur; 1935, Heft 3/4, S. 39

Quellenverzeichnis

- (1) Hartmann, W.; Vortrag; Philipp Holzmann Archiv, Berlin
- (2) Ludin, A.; Talsperrenkraftwerk im Rincón del Bonete des Río Negro, Beil. 2, Erl. Berichte 1 – 9, 1933 (Staatsbibliothek Berlin)
- (3) Ludin, A.; Talsperrenkraftwerk im Rincón del Bonete des Río Negro, Beil. 2, Erl. Berichte 10 – 20, 1933 (Staatsbibliothek Berlin)
- (4) Pohl, Manfred; Philipp Holzmann-Geschichte eines Bauunternehmens; 1999; 1. Auflage
- (5) Hans Meyer-Heinrich: Philipp Holzmann Aktiengesellschaft; S. 321
- (6) Leonel Contreras; Temas de Patrimonio Cultural 15 - RASCACIELOS PORTEÑOS -Historia de la Edificación en altura en Buenos Aires (1580-2005); 25.11.2005
- (7) Blanchard, Olivier und Pérez Enri, Daniel; Macroeconomía. Prentice Hall Iberia; Buenos Aires 2002
- (8) Roland Schmitt; Die Schalungstechnik - Systeme, Einsatz und Logistik; Ernst & Sohn 2001
- (9) Der Bauingenieur:
 - Jg 1931: Heft 26
 - Jg 1935: Heft 3/4; 9/10; 11/12
 - Jg 1936: Heft 43/44; 23/24
 - Jg 1937: Heft 5/6
 - Jg 1939: Heft 9/10
 - Jg 1940: Heft 35/36

Internetquellen:

- | | |
|---|-------------------|
| http://www.muz-online.de/america/uruguay.html | Stand:2012-01-20 |
| http://en.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Negro_%28Uruguay%29 | Stand:2012-01-20 |
| http://de.wikipedia.org/wiki/Rinc%C3%B3n_del_Bonete | Stand:2012-01-20 |
| http://www.deutsche-biographie.de/sfz54634.html | Stand: 2012-01-14 |
| http://www.reflektion.info/html/1006_200308_1_db-sattel.html | Stand:2012-19-01 |

<http://de.wikipedia.org/wiki/Wolffkran>

Stand:2012-19-01

http://www.archive.org/stream/polytechnischesj268stut/polytechnischesj268stut_djvu.txt

Stand: 2012-19-01

http://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2010/9114/pdf/ZfB_1906_01-03.pdf

Stand:2012-01-22

http://www.luise-berlin.de/lexikon/mitte/v/versuchsanstalt_fuer_wasserbau_und_schiffbau.htm

Stand:2011-12-11

<http://www.kunststoff-museum.de/index.php?id=29>

Stand:2011-11-22

<http://www.tierrasdeluruguay.net/muy.gif>

Stand:2012-02-01