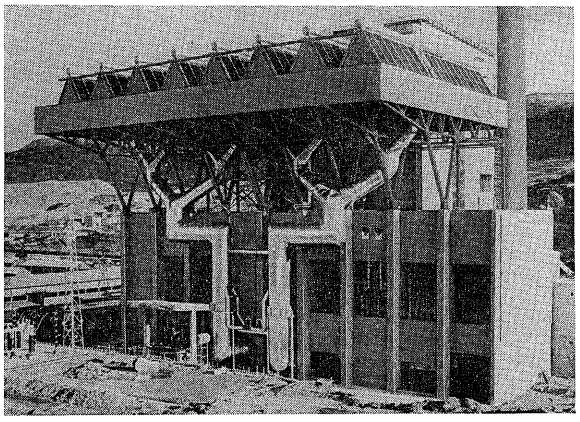
UDC 621,311.22

空気冷却方式 160MW 火力発電所 ウトリヤスの計画と建設

Planning and Construction of the 160MW Air Cooled Steam Power Station Utrillas

I. まえがき

スペイン・テルエル (Teruel) 県のモンタルバン (Montalbán) の南およそ 10 km に Unión Térmica S.A. (UTSA) によりウトリヤス火力 (第1図) が建設された．発電所は "Minas y Ferrocarril de Utrillas S.A." (MFU) 褐炭鉱山のそばにあり，ウトリヤス村およびエスクチャ村地域の標高約1,000m の山地にある．発電所の出力はさしあたり160MW であり，空気冷却復水方式である．新発電所用に，また将来の増設を考慮して，MWU褐炭鉱は再拡張され，産炭量は将来3倍になるはずである。



第1図　ウトリヤス火力発電所および空気復水設備

Fig. 1. Power Station Utrillas with air cooled condensation

II. 計　　画

1962 年にバルセロナの Fuerzas Eléctricas de Cataluña, S.A. (FECSA) はウトリヤス炭鉱の褐炭を燃焼するユニット4基，総出力約500MW の火力発電所計画を開始した．充分な量の冷却水は冷却塔の冷却水にさえ期待し得なかったので，当初から空冷発電所が考慮された。

直接空冷復水方式と自然通風冷却塔をもった間接方式との見積比較の結果，FECSA は 1964 年に直接方式を決定した．なぜなら，この方式の方が間接方式よりも気候条件および建築条件により良く適合し，そして予定のユニット規模にとって総合経済的にもより有利になったからである。

1965 年初め，当時建設中であったバダロナ火力2号にならって160MW のユニット規模に計画変更された．このユニット規模に対して，空冷発電所をウトリヤス鉱山に建設する場合とエブロ (Ebro) に水冷発電所を建設する場合との比較が石炭輸送費を考慮に入れて行なわれた．FECSA の調査から，熱消費率が若干高く所内動力が大きいにもかかわらず，炭鉱に近接した空冷火力発電所の方が約 10% 経済的であることが明らかになった．空気冷却によるコスト増加は，充分な水のある地点までの嵩高な石炭輸送費よりも少ない。

ユニット規模が160MW に決定された後，運転の安全性および空気冷却装置の規模についての広範囲な調査が実施された．その当時までに建設された空冷復水の最大ユニットは 48MW であった．それゆえウトリヤスではほとんど3.5倍の拡大が必要であった．空冷復水装置に証明済の標準エレメントを使用することが可能なので，空冷に関連するすべてのそれ以上の調査が軽減された．褐炭増産の可能性および運転用水供給に関する詳細な地質調査が建設決定に先立って行なわれた。

FECSA により発電所総合プランが確定された後，新会社として Unión Térmica S.A. (UTSA) が設立された．この新会社が 1967 年暮れシーメンス社に対し発電所の電気機械装置供給およびこれら供給品の据付監督の発注を行ない，また国産供給部分に対する全面的な責任をもシーメンス社に委託した．輸入免許はスペインにおいて国産不能な発電所装置に対してのみ与えられた。

III. 基 本 設 計

UTSA が電気機械部分の供給契約を発した後，計画はプロジェクトと新会社内部の作業を引継いだ FECSA の計画部門によって詳細化され，シーメンス社との共同作業が行なわれ，次の設計諸元が決定された。

ユニット出力	146/160MW
タービン入口蒸気条件	180kg/cm²
	525℃
タービン入口再熱蒸気温度	525℃

タービン排気圧力	0.10/0.117 kg/cm²•abs
発電機出力	200MVA
cos ϕ	0.8
水素圧力	3kg/cm²
周波数	50Hz
燃料	褐炭（リグナイト）
発熱量（低位）	3,400～4,300 kcal/kg
冷却方式	空気冷却復水
冷却空気温度	15℃

将来160MWユニット2基を増設するための補給水供給問題も同時に解決されなければならなかった。

石炭処理装置（貯炭場および運炭装置）は増設を含めた3ユニットの供給用ばかりでなく，定検期間中または発電所停止中にも石炭採掘を停止させる必要がないだけの充分な貯炭場容量を持っていなければならない，このことは採掘炭をすべてこの発電所で消費する予定上必要であった。

石炭分析値

水分	8～15%
揮発分	30～43%
灰分	25～35%
硫黄分	2～ 5%
発熱量（低位）	3,400～4,300 kcal/kg

上記の石炭はボイラ構造に特別の要求をもたらした．さらに灰分が高いので灰捨場にも配慮しなければならなかった。

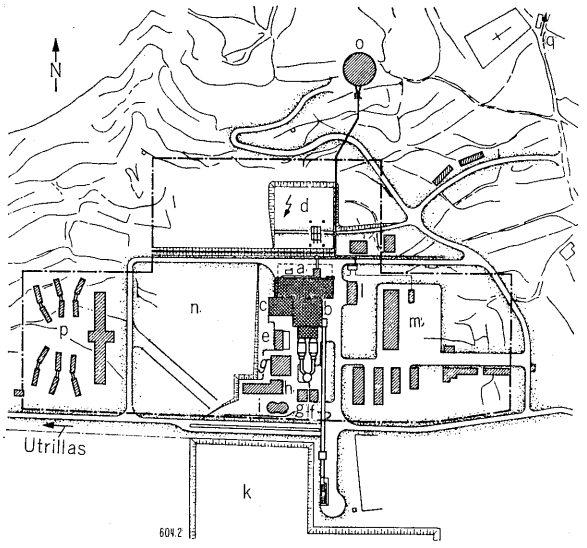
鉄道連絡がないので，重量部品は特定の駅以後は道路交通によってのみ行なわれた．詳細な調査と模型を使った鉄道および道路における試歩行によって，重量物—特に主変圧器（155 t）および発電機固定子（173 t）の摩擦のない輸送の前提となる構造上の資料を得た。

これらの困難な条件に加えて試運転開始まで30か月という短工期が要求され，さらに長い輸送期間（ドイツ出荷後約10週間）をも考慮しなければならなかった。

IV. 全体計画

発電所は国道 N-420 号線の北にあり，大規模な爆破作業や土木工事を必要とせずに西側に同容量ユニット2基の増設が可能である（第2図）．空冷復水器の据付場所造成のために道路北側の上り坂の爆破作業を行なわずにすむように，タービン室屋上配置が採用された（第3図）．この配置により清浄な冷却空気による良好な通風状態が得られ，また主変圧器からの高圧架空線の架設が可能となった。

国道の南側には最大 500,000 t の貯炭場が設けられた．この容量は発電所の燃料消費からよりはむしろ鉱山会社（MFU）の要求から決定された．石炭の自然発火



a．タービン室，空冷復水器
b．ボイラ室
c．開閉器室，中央操作室
d．屋外開閉所
e．所内水冷却設備
f．補助ボイラ
g．油タンク
h．灰沈殿池
i．灰サイロ
k．貯炭場
l．管理事務所
m．倉庫，工場管理所
n．増設用地
o．水タンク
p．建設据付要員宿所
q．灰捨谷への道路

第2図　ウトリヤス火力発電所の配置

Fig. 2. Layout of the power station utrillas

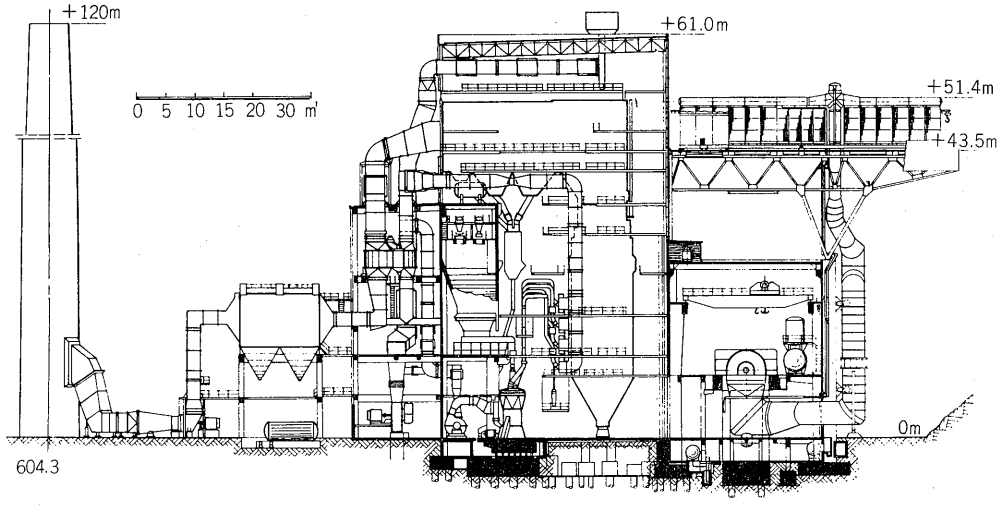
性が高いので積層は 6～7m に制限され，しかも積層表面は固く転圧されねばならない．当座は石炭はトラック輸送される．しかし将来貯炭場のすぐ近くにMFUにより新しい中央坑が作られ，石炭はここから砕炭装置を通ってベルトコンベアにより貯炭場または直接発電所へ送られる．貯炭場で配分，踏固，さらに地下バンカへの落込にブルドーザが使用され，燃料は地下バンカからベルトコンベアにより発電所石炭バンカに運ばれる。

灰分が 25～35% なので大容量の灰処理装置が必要である．灰は火炉から，計画最大能力 8.5 t/h の水力式灰出装置により沈殿池に排出される．ボイラおよび電気集じん器からの最大 30 t/h のフライアッシュは2基のサイロへ空気輸送される．すべての灰は沈殿池またはサイロから発電所北側の谷へトラック輸送される。

建設作業用水および発電所運転用水を確保するために，井戸と 10,000m³ 水槽との間に約 9km の送水管が敷設され，ここから運転用水および補給水（1号用約 60 m³/h，1～3 号用約 200 m³/h）が供給される。

電力は主変圧器からケーブルを経て発電所構内 220 kV 開閉所に至り，約 80km の 220kV 架空線によりエスカトロン（Escatrón）変電所へ送電され，ここからマドリード，バルセロナ間の高圧線へ供給される。

発電所建設地点が村から離れているので大がかりな建設所仮設が必要であり，また後日の運転のためにも構内に工場が必要であった．スペイン人作業員宿舎および指



第3図
ボイラ室，タービン室断面
Fig. 3.
Cross section of boiler-and turbine house

導員用家屋が約 5km 遠方に建てられ，これらは後日運転員のために使用される。

V. 基本熱回路

発電所ユニットの水，蒸気回路を第4図に示す．初蒸気はタービン第1車室を流れ，再熱され，第2車室を経て複流低圧車室を流れ，空気復水器に至る．復水は主復水ポンプにより3段の低圧給水加熱器を経て脱気器および給水タンクに送られ，ここから給水ポンプにより2段の高圧給水加熱器を経てボイラへ給水される．運転信頼性を考慮して複雑な熱回路は断念された．最終給水加熱温度 253℃ は最上段の抽気圧力，すなわち低温再熱圧力により決定される．抽気ドレンは高圧給水加熱器を順落しに流れ，脱気器に至る．低圧給水加熱器のドレンも同様に順落しに流れ，最下段においてドレンポンプにより給水ラインに送られる。

給水は最下段給水加熱器の後に配置されたろ過装置に送られ，ここで空冷復水器からでてくる酸化鉄が分離される。

VI. 蒸気発生設備

ベンソン形強制貫流ボイラの設計値は次のとおりである。

最大連続蒸発量	550 t/h
ボイラ認可圧力	210 kg/cm²
過熱器出口運転圧力	190 kg/cm²
過熱器出口運転温度	530℃
最大再熱蒸気流量	490 t/h
再熱器認可圧力	56 kg/cm²
再熱器運転圧力 入口/出口	46.5/44.3 kg/cm²
再熱器出口温度	530℃
給水温度	253℃

燃焼室は溶接された気密なスパイラル管壁でできている．燃焼室は支持格子上に弾性的に吊かけられており，支持格子はタービン室とバンカ上の2本の支持梁に支えられている．燃焼室上部には比較的大きな輻射室があり，ここでガス温度は灰軟化点以下に低下する．続く水平煙道には板形過熱器，次いで接触過熱器が直列に配置されている．この配置には石炭の高い灰分が考慮されており，接触伝熱面の清掃時にフライアッシュを直接下のホッパへ落すことを可能にしている。

ミルトリップ時に火焔のアンバランスが起こらないように，4台のミルは各バーナ段ごとに接続されている．3台のミルで全負荷運転ができる容量を持っている．ミル配置および後壁燃焼バーナ配置により，タービン室はちりおよび騒音による面倒から遠ざけられている．軽油点火バーナ8本が起動と低負荷時の助燃用とに使われる．ボイラには起動•低負荷装置が設備されていて，循環運転をすることによって，約 25% の最低負荷に至るまでの運転が可能である．これにより起動時の熱損失は減少し，低い初蒸気圧力温度による初蒸気配管およびタービンのウーミングが許容される．蒸発器出口の分離タンクはここでは水分離器として働き，過熱器は乾燥状態で起動される．したがって点火後間もなく過熱蒸気が使用できる。

ボイラは各2台の押込送風機，誘引通風機およびユングストローム空気予熱器をもっており，1台トリップの場合にもなお 60% 負荷運転が可能である。

排ガスは煙突に入る前に電気集じん器により浄化され，排ガス温度は清浄なボイラ加熱面の状態で 130℃ である。

VII. タービン発電機

1段再熱3車室串形復水タービン発電機は FECSA バダロナ火力2号と同一構造，設計である。

タービン発電機設計値

出　　力	定格/最大	146/160MW
初蒸気流量	定格/最大	454/508 t/h

初蒸気温度	525℃
タービン排気部圧力 定格/最大	0.10/0.117 kg/cm²•abs
排気流量 定格/最大	314.5/349.2 t/h
回転速度	3,000rpm
発電機出力（$\cos\phi=0.8$ において）	200MVA
水素圧力	3kg/cm²

低圧タービンおよび排気面積の設計に当たっては，排気体積流量の可能なだけの変化が考慮された．排気流量変化は，空冷復水器の場合には冷却空気温度の変化幅が大きいので，水冷復水器の場合より著しく大きい。

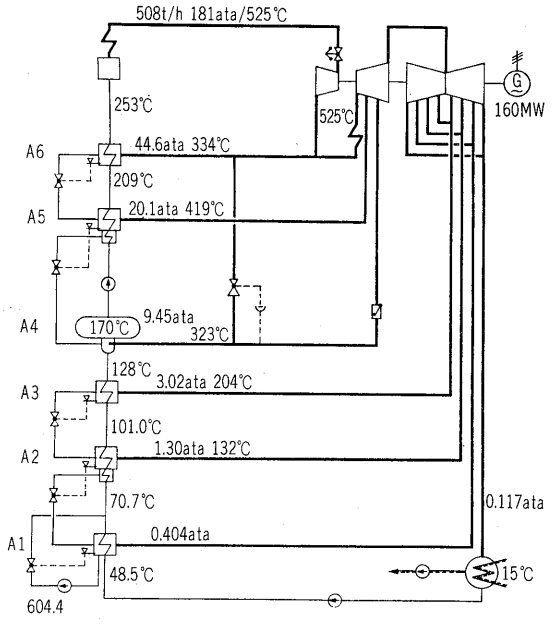
空気復水器の場合は排気圧が同容量水冷プラントに比較して高くなるので，複流低圧タービンは小さくすることができた．最終段翼長は510mm である。

空冷方式であるため冷却水温度が一時的に高くなることを考慮して発電機水素冷却器は大きくしてある。

VIII. 給水加熱器，ポンプ，配管設備

タービン下部に配置されている3台の低圧給水加熱器には管板にエキスパンドしたU字形の鋼管が使われている．水室には取はずし可能なカバーが取り付けられている．全容積 150m³ の給水タンクは +9.5m のタービン室床上に置かれており，その上には滴水装置を組み込んだ混合脱気加熱器が置かれている．高圧給水加熱器は縦形2系列である．同様に鋼管が使用され，内蔵形給水ヘッダに溶接されている．A 2 低圧給水加熱器および A 5 高圧給水加熱器 2 台には下部に復水冷却ゾーンが組み込まれている（第4図)。

主復水ポンプには縦形5段ポンプ2台が使用され，全流量における吐出水頭は250m である。



第4図 160MW 熱流線図

Fig. 4. Heat flow diagram for 160 MW

3台の半容量給水ポンプは増速歯車付流体変速機を介して電動機駆動され，電動機の他端ではブスターポンプが駆動される．給水ポンプは9段で接触防止構造になっている．ポンプ2台の並列運転により出口圧力 288kg/cm² において給水量 550 t/h を吐出する。

1系統の初蒸気配管はタービン入口で2本に分岐する．高温再熱蒸気配管では高価な混合管の使用を避けるため，2個の再熱器出口ヘッダと2本の再熱蒸気管を連絡管により相互に連絡し，これにより燃焼または注水減温のアンバランスによる温度差を均一化している．主要配管の材質，寸法を第1表に示す。

第1表 配 管

Table 1. Pipings

配管名称	数	内径 (mm)	平均肉厚 (mm)	材質
初蒸気配管	1	252	38.0	14MoV63
低温再熱配管	2	430	14.0	15Mo3
高温再熱配管	2	400	16.2	14MoV63
高圧給水管	1	252	24.0	20MnMo45

IX. 空気復水器設備および所内水冷却

タービン排気の凝縮熱は空気復水器により外気へ取り去られる．この空気復水器はこの種のものとしては世界最大である（第1図)。

設計値	
冷却空気流量	10,000 m³/s
設計大気圧	672 Torr
通風機台数	40台
通風機最大軸出力	2,400 kW
冷却空気温度	15℃
タービン排気量	314.5 t/h
タービン排気圧	0.1 kg/cm²•abs
冷却容量	168 Gcal/h

空冷復水装置は冷却空気温度 −20℃〜+40℃ 間において異常なく動作し，30℃ においてタービン排気部圧力 0.26 kg/cm²•abs の蒸気 375 t/h を処理しなければならない。

空気復水装置はタービン室上の高さ 43m の架台上に据えられ．所要面積はタービン室より大きく，かつ将来のユニット増設を考慮してタービン室前面へ張出している(第1図)．装置は1列が5台の屋根形エレメントからなる8列で構成され，各エメントは多数のひれ付管とその下に置かれた通風機装置からなっている．各列の両端にある2台のエレメントは上部で蒸気分配配管に溶接されており，凝結復水は蒸気に順向して流れ，下部の集合管に流出する．各列の中央部エレメントグループは空気分離部として接続されており，ここでは蒸気は下部の集

合管からひれ付管に流入する．復水は蒸気流に対向して流れ，これにより冬期の凍結の危険が防止される．空気抽出は空気分離エレメントの上部室で行なわれる．空気抽出用には3台の空気エジェクタ付エルモポンプが使用され，1台は運転用に，2台はそれぞれ起動用と予備機に使用される。

ひれ付管はだ円管と方形鋼板製ひれから作られている　ひれ付管は外面が亜鉛めっきされ，冷却エレメントの管端で溶接されており，そして多列千鳥配置になっている．ひれ付管の全長は約 280km になる。

冷却エレメントの下には，空気復水器架台の高さに，通風機支持架が設けられ，ダンパ付スプリング上に固定されている．これにより復水器架台への振動伝達は大幅にしゃ断される．各通風装置は直径 5.6m の6枚翼鋼鉄製軸流ファン，平歯車装置および極数変換電動機から構成されている．電動機回転速度 1,480 または 980rpm においてファン回転速度は 220 または 145rpm になり，このときの動力はおよそ 62 または 21kW になる。

低い回転速度は蒸気量が少ない場合または空気温度が低い場合に使用される．8列のエレメント列のいずれにおいても，復水エレメント下の4台の通風機および分離エレメント下の1台の通風機は個別に切り換えまたは停止することができる．これにより設備の運転方法を負荷および空気温度に微細にかつ最適に適応させることができる。

落下する復水は配管を流れて復水集合タンクに至り，主復水ポンプにより再び系統に戻される。

鋼板溶接の排気管はタービン低圧車室排気ケーシングから始まる．ここで出口部内径 3,500mm のYピースに接続する．さらに配管はタービン室前面を立ち上り，次にそれぞれ水平になりYピースに接続し，ここで内径 2,500mm 4本に分岐される．ここに至るまでのすべてのベンドには圧力損失減少のために格子形ガイドベーンが取り付けられている．排気管はこれ以後さらに分岐され，口径 1,800mm 配管8本に分れてエレメント列上部の蒸気分配管に至る。

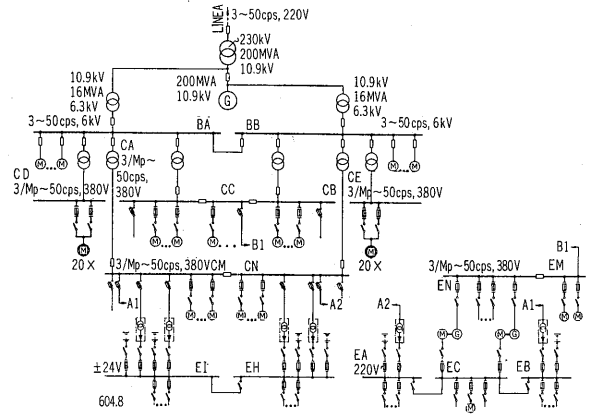
確実な伸びの状態を得るためにタービン排気部は垂直に導かれ，スプリングで支持される．上昇管はタービン軸の高さでヒンジサポートに吊掛けられる．この点以後は伸びは上方に伸び，配管の最上位置においてコンペンセータにより吸収される．ここでは上昇管はスプリングハンガで吊られる．蒸気配管は鋼板溶接製で，完全真空に耐えるように補強リングが外側に取り付けられ，溶接リングパッキン付のマンホールを備えている．排気管の容積は約 2,000m³ になる。

発電所諸設備には閉回路の所内冷却水回路から冷却水が供給される．所内冷却水の冷却は同様に空冷である．冷却水冷却設備は冷却エレメント3台からなり，これらは空気復水装置のエレメントと大体同じである。

冷却水冷却装置設計値

冷却水流量	1,200 t/h
所内冷却水出口温度	37℃
冷却空気温度	15℃
冷却空気量	750 m³/s
冷却能力	6.0 Gcal/h
通風機台数	3

冷却水循環回路には，全塩脱塩装置のストレージタンクから補給され，腐食防止のために，インヒビタが注入される．気象条件による短時間の温度ピークに対しては予備タンクが用意されている。



BA，BB：6kV 開閉装置，ユニットおよび共通用
CA，CB，CC：380V 主フィーダ，ユニット
CD，CE：380V 主フィーダ，空冷復水器
CM，CN：380V 主フィーダ，共通用
EA，EB，EC：220V 直流主フィーダ，保護，制御保安動力用
EH，EJ：24V 直流主フィーダ，Gマティック制御，故障表示
EM，EN：380V 非常電源，計測，保安動力

第5図　基本電気回路

Fig. 5. Basic electric connection line

X. 基本電気回路

発電した電力は主変圧器（220 MVA 10.9/230kV ±15.7%）から 220kV 架空線を経てエスカトロン（Escatrón）変電所で 220kV 送電網に供給される．起動用の所内電力を他から得ることができない．このような条件のもとでの所内電源回路を第5図に見ることができる．16MVAの変圧器2台からの所内電力供給により 220kV またはユニット側の喪失の場合にもどちらかの変圧器を用いることによってユニットの停止が確保される。

XI. 制御，監視および遠方操作

発電所の監視および遠方操作は中央操作室に集中化さ

れている．記録計といくつかの大形指示計は壁形直立盤に，大部分の電気式指示計と遠方操作は机操作盤に取り付けられている．これらは 48 ラスタ技術のコンパクトバルテン方式を用いている．監視（故障表示を含む）および遠方操作用装置はファンクショングループ技術により組み上げられ，相互に連繋されている．着色式指示表示器およびシンボルは目視を容易にしている．操作机盤の電圧は ±24V であり，非常スイッチのみ 220V の直流または交流が使われる．すべての制御，計測信号は中央操作室の下にある総合端子盤を経由して導かれる。

制御装置にはテレパームバウシュタイン方式が用いられている．調節器ユニットは中央操作室下の補助室内に据えられた盤内に納められている．個々に次の値が制御される．ユニット電気出力，燃料供給，初空気圧力，一次空気供給（ミル空気），二次空気供給（バーナ空気），ミルセパレータ温度，火炉圧力，初蒸気圧力，初蒸気温度（2×2高圧注水減温器），再熱蒸気温度（2再熱器注水減温器），蒸気温度とボイラ水位の影響を補正した起動用および通常運転用の給水量制御。

さらに給水加熱器，タンク類の水位，蒸気変換減圧装置およびタービン補機の圧力温度が自動制御される。

XII. むすび

運転中のものとしては世界最大の空気冷却発電所の計画と建設は企業上および技術上の決定に対して特別の要求をもたらした．スペインからの国産品の大部分はすべての協力者の特別に良い共同作業を必要とした．最初の運転結果は決定の正しさを確証した．発電所のさらに詳しい特長について，そして据付試運転および初期運転期間中の経験については，あらためて報告されるであろう。

（原　著
F. March, H. Rziha, F. Kelp
Brennst.-Wärme-Kraft 22 (1970) Nr. 7. Juli
訳　者
電力・営業部　清水正俊）

技術論文社外公表一覧

題目	所属	氏名	発表機関		
プラスチック成形品の近況	中央研究所	佐倉　武久	電気新聞	11月9日	電気新聞社
原子炉に直結するガスタービンについて	電力・原子力技術部	河田　修	原子炉多目的利用研究会第9回例会（講演）	11月27日	日本原子力学会関西支部
多種少量生産におけるプレス型標準化の考え方について	東京工場	中野　一郎	非削加工誌	12月号	工学研究社
同期機等価回路と特性計算	川崎工場	森安　正司	電気計算誌	1月号	電気書院
“図で解くシーケンス制御技術30日講座” 増幅回路・微分回路編	制技・系統技術部	三橋　成生	電気計算誌	1月号	電気書院
鉄鋼プラントにおけるテレコン最新技術	制技・系統技術部	笹本　正彦	電気計算誌	1月号	電気書院
切換回路	制技・系統技術部	笹本　正彦	電気計算誌	1月号	電気書院
昭和45年度の代表的製品	特許部	藤原　重矩	電機誌	1月号	日本電機工業会
175MW 機の起動特性試験	川崎工場	湖崎　一俊	火力発電誌	2月号	火力発電技術協会
2,000 t/h ジェットコンデンサ	川崎工場	寺田　武 新海　洋	火力発電誌	2月号	火力発電技術協会
屋内配電の近代化について	電力・技術第二部	菊池　通夫	電気学会誌	3月号	電気学会

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。