

C. N. COFRENTES

EL MONTAJE ELECTRICO

Víctor José BARBERO CAMARA

ORGANIZACION

CARACTERISTICAS

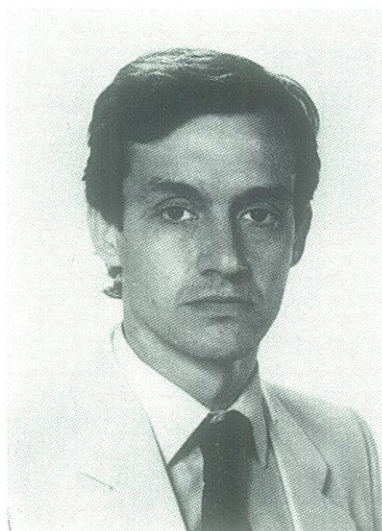
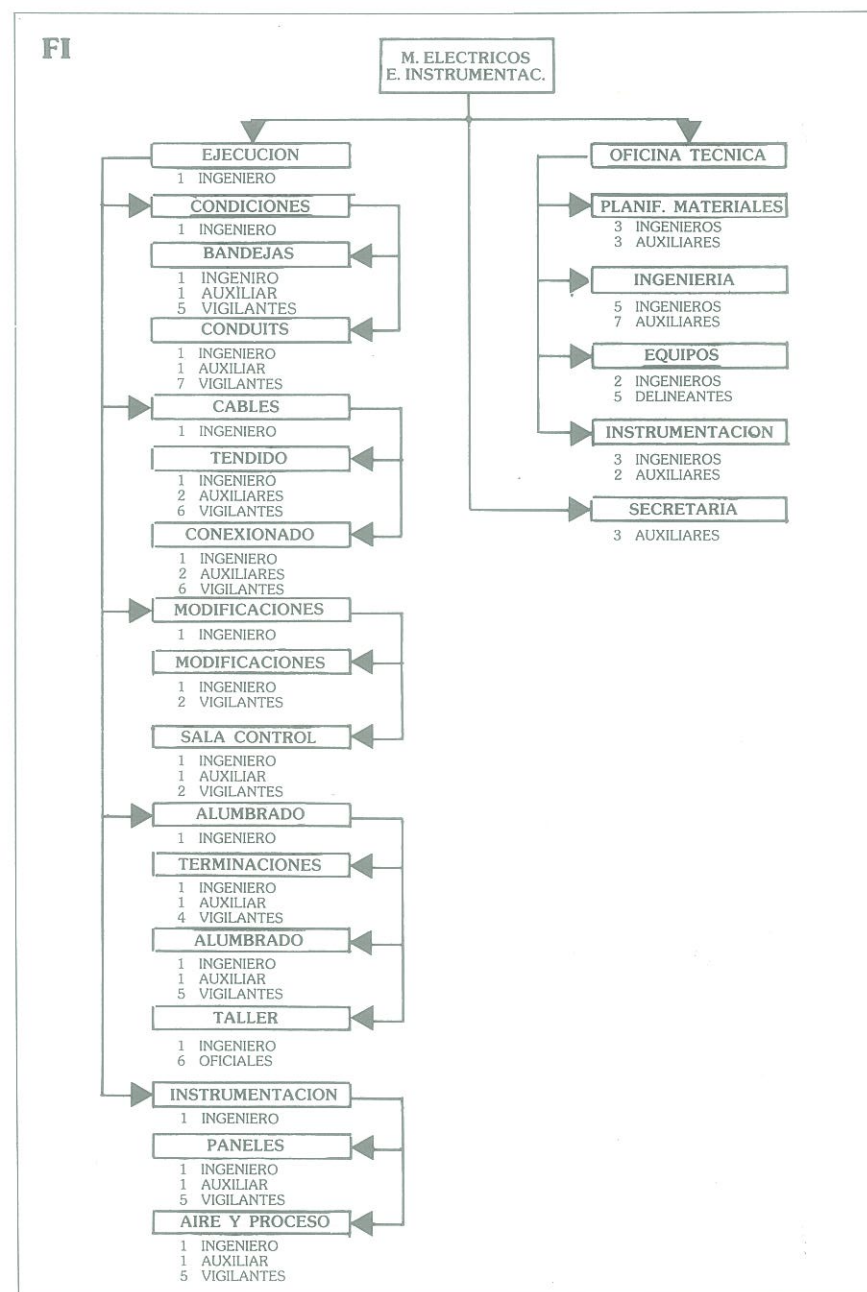
El montaje eléctrico de una central nuclear no difiere en sus aspectos técnicos, a excepción del diseño sísmico, del montaje de una central convencional. Sin embargo, presenta algunas características especiales, como problemas de interferencias, grandes volúmenes de trabajo, dependencias de suministro e ingeniería, exigencias de garantía de calidad, volumen de documentación...

Todo ello hace necesario que se tomen medidas especiales en cuanto a la organización, con objeto de llevar a buen fin los trabajos.

ORGANIZACION

El planteamiento del montaje parte de la base de contratación de los trabajos a terceros, por lo que el personal de Hidroeléctrica Española tenía como misión fundamental la supervisión y control de los trabajos.

ORGANIGRAMA DE MONTAJE ELECTRICO



Víctor José BARBERO CAMARA es Ingeniero Industrial por la ETSII de Madrid.

En 1974 trabajó en la Oficina Técnica de aparellaje eléctrico de Westinghouse. Tras seis meses de formación en Montaje (1974) en la C.N. de Almaraz, pasó a C.N. Cofrentes como Jefe de Montaje Eléctrico e Instrumentación. Ha participado en numerosos cursos y es miembro de la SNE y de otras Sociedades Profesionales.

En la actualidad es Jefe del Servicio de Ingeniería Eléctrica de la Subdirección de Producción Nuclear de HE.



Cabinas de 6,5 KV y barras agrupadas

El montaje eléctrico y de instrumentación de la Central Nuclear Cofrentes se dividió en cuatro fases principales, que eran las siguientes:

- Ingeniería, fabricación y montaje de soportes y tendido de bandejas y conduits.
- Tendido y conexionado de cables y montaje de equipos eléctricos.
- Ingeniería y montaje de alumbrado.
- Montaje de instrumentación.

La elaboración de peticiones de oferta, así como de las propuestas de adjudicación se realizó por el equipo de montajes eléctricos, siguiéndose en estas últimas un criterio de división de trabajos, con el objeto de no tener un contratista único capaz de realizar una actividad determinada.

Las personas que formaban el equipo eléctrico de construcción de la Central Nuclear Cofrentes estaban englobadas en dos grandes grupos: «Oficina técnica» y «Ejecución». Estos grupos estaban divididos en las siguientes áreas de actuación (ver figura 1).

Oficina técnica

- Planificación, seguimiento e informes.
- Documentación e Ingeniería.
- Equipos.
- Instrumentación.

Cada uno de estos grupos disponía de las personas indicadas en el organigrama de la figura 1, con el fin de realizar las funciones que se indican en el apartado siguiente.

T I						
	Cantidad total	Rendimiento medio (hh/ud)	Rendimiento óptimo (hh/ud)	Producción media (ud/mes)	Producción óptima (ud/mes)	Coefficiente de correlación
Diseño soportes bandejas	9.400 uds	1,89	1,43	478	588	—
Fabricación soportes bandejas	11.752 uds	6,9	4,06	239	518	—
Montaje soportes bandejas	11.752 uds	18,8	15,26	303	492	0,7889
Montaje de bandejas	40.730 ms	2,85	1,86	1.460	3.301	0,7232
Diseño sop. conduits (IE)	12.000 uds	1,73	1,43	454	8.210	—
Montaje de conduits	128.968 ms	5,11	2,72	3.435	3.741	0,4025
Tendido de cables	2.648.146 ms	0,10	0,07	103.072	107.876	0,8965
Conexionado de cables	244.878 uds	0,49	0,34	11.935	14.697	0,6845
Montaje tubo alumbrado	82.618 ms	1,35	0,83	2.696	4.544	0,8352
Tendido cables alumbrado	612.230 ms	0,11	0,04	20.266	39.557	0,9585
Conexionado cables alumbrado	164.800 uds	0,27	0,23	6.653	7.792	0,9807
Montaje colector aire	6.323 ms	4,68	2,38	226	490	0,5682
Montaje acometidas neumáticas	27.546 ms	1,86	1,75	1.265	1.793	0,9309
Montaje líneas de proceso	23.400 ms	2,79	2,38	987	1.421	0,6875

Ejecución

- Canalizaciones de cables.
- Tendido, conexionado y montaje equipos.
- Alumbrado y varios.

- Modificaciones en equipos.
- Instrumentación.

El personal asignado a cada una de estas áreas se indica en la figura 1.

Proceso de datos

Con el fin de precisar la información, se disponía de puestos de trabajo de un sistema Wang de tratamiento de textos, de un ordenador Univac, así como de un terminal IBM, conectado con el ordenador de la ingeniería principal, situado en Madrid.

FUNCIONES

Las funciones realizadas por cada una de las áreas mencionadas antes son las siguientes:

OFICINA TECNICA

Area planificación y seguimiento

- Seguimiento de materiales.
- Elaboración de programas.
- Seguimiento y control de montaje.

- Mecanización de la información.
- Elaboración de informes.

Area ingeniería y documentación

- Recepción, aprobación y distribución documentación.
- Elaboración y control de cambios a los documentos.
- Estudio y preparación de la documentación de montaje.

Area equipos

- Estudio y elaboración de documentación de modificación en equipos.
- Edición de planos as-built de equipos recogiendo las modificaciones realizadas.

Area instrumentación

Los de las Areas de Ingeniería y Equipos para la actividad de instrumentación.

MONTAJE

Las funciones, coincidentes para todas las áreas, son:

Centro de transformación



- Organización del trabajo.
- Planificación de montaje en detalle.
- Preparación de peticiones y comparaciones de ofertas.
- Control técnico de la ejecución.
- Control económico y elaboración de certificaciones.

MECANIZACION DE LA INFORMACION

Aparte de la utilización del sistema Wang para la confección de cartas y documentos, en el conjunto de los sistemas Wang-Univac-IBM se procesaban los siguientes programas de control:

- Seguimiento de materiales.
- Seguimiento de montaje de bandejas y soportes.
- Seguimiento de montaje de conduits y soportes.
- Seguimiento de montaje de cajas.
- Seguimiento de tendido de cables.
- Seguimiento de conexionado de cables.
- Seguimiento de soportes de instrumentación.
- Seguimiento de instrumentos.
- Seguimiento de líneas de instrumentación.

CABLE _____ RED _____ RUN _____ REF. W. _____ REV. _____		HIDROELECTRICA ESPAÑOLA, S. A. C. N. COFRENTES
PRONUM. F III N.º CABLES _____ LOTE N.º _____ BOBINA _____		
L. TEORICA _____ L. REAL _____		
ORIGEN	DESTINO	
RECORRIDO		
PLANO DE CONEXION ORIGEN		HOJA _____ REV. _____
PLANO DE CONEXION DESTINO		HOJA _____ REV. _____
TENDIDO POR		
FECHA	FIRMA	FECHA
NOTAS		

F III		CONEXIONADO ORIGEN		PAGINA _____
CABLE	REF. W.	RED	RUN	ESQUEMA
EDUPO ORIGEN	EDIFICIO	ELEV.	EDICION	FECHA
NUMERO CONDUCTOR	IDENTIFICACION CONDUCTOR	BOBINA EQUIPO		
 HIDROELECTRICA ESPAÑOLA S.A. C. N. DE COFRENTES		Nº PUNTAS REALES Nº PUNTAS TOTALES PRIORIDAD CONEXIONADOR FIRMA: FECHA CONEXION		
		NOTAS:		



Ordenador de proceso

- Seguimiento de líneas de aire.
- Programa de liberación de cables.

MONTAJE

El montaje eléctrico y de instrumentación de Cofrentes se ha realizado entre los años 1980 y 1983. En dicho montaje se incluye desde el montaje de canalizaciones de cables, paneles y equipos hasta el montaje de instrumentos y conexionado final. A continuación se des-

HE		HIDROELECTRICA ESPAÑOLA, S. A.	
		C. N. COFRENTES	
CABLE _____ RED _____ RUN _____ REF. W. _____ REV. _____		N.º CABLES _____ BOBINA _____ F. TENDIDO _____	
ORIGEN	DESTINO	LOTE N.º _____	
INSPECCIONES	RESULT.	CONTRAT. G. C.	HIDROLA MONTAJE G. C.
PINTURA			
RECORRIDO			
DAÑOS EN CUBIERTA			
IDENTIFICACION PROVISIONAL			
IDENTIFICACION EN RECORRIDO			
SELLADO PUNTAS			
TENSION DE TENDIDO			
ASLAMIENTO			
RECORRIDO			

HE		HIDROELECTRICA ESPAÑOLA S.A.	
		C. N. DE COFRENTES	
CONEXIONADO ORIGEN			
CABLE	REF. W.	RED	RUN
ESQUEMA	HOJA	REV.	FECHA
EQUIPO ORIGEN	EDIF.	ELEV.	EDIC.
INSPECCIONES	RESULTADO	CONTRAT. G. C.	HIDROLA MONTAJE G. C.
CONTINUIDAD			
PUNTOS DE CONEXION			
IDENTIFICACION DEL CABLE EN EXTREMO			
IDENTIFICACION DE LOS CONDUCTORES			
SERIALIZACION DE CONDUCTORES			
ENGASTE			
TIMBRADO DE UNO DE LOS CONDUCTORES			
NOTAS:			

criben algunas actividades en las que merecen destacarse algunos aspectos del montaje.

MONTAJE DE BANDEJAS

Para lanzar este montaje se realizó un estudio previo de interferencias con tuberías y conductos de ventilación, asignando prioridades de montaje en cada área. Con ello se logró el máximo solape entre los tres montajes.

El diseño de soportes se efectuó en oficina, para poder controlar las interferencias de estas con otros elementos de la planta.

MONTAJE DE CONDUITS

Los conduits se han montado directamente en campo sin diseño de detalle previo. Es importante destacar que el diseño de soportado sísmico se efectuó en campo, dado que un estudio previo en oficina es inviable al no poderse estudiar las interferencias en detalle en esta fase de montaje.

TENDIDO Y CONEXIONADO DE CABLES

Para el tendido de cables se han utilizado fichas de tendido, las cuales incluían los datos de identificación del cable, sección, origen, destino y recorrido. (Ver figura 2).

En el edificio del Reactor, dado que el volumen de tendido por conduits era muy importante, se confeccionó un programa que asignaba prioridades en el montaje de conduits (en función de maximizar el tendido de cables) y posteriormente identificaba los cables que estaban listos para tender.

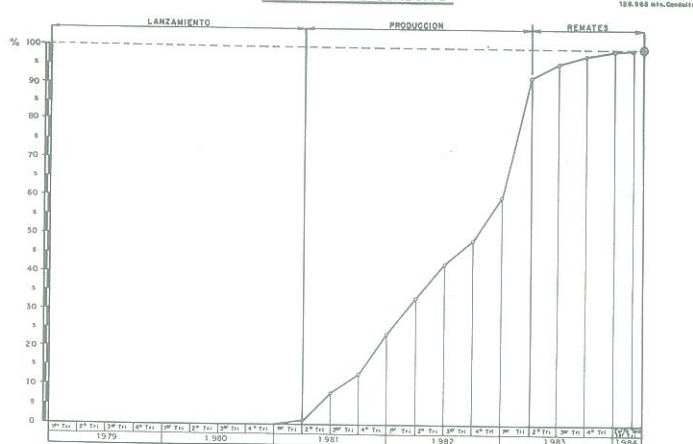
El conexionado se realizó utilizando el sistema de fichas de conexionado. (Ver figura 3.)

Tanto en las fichas de tendido como en los de conexionado existe un cuerpo en donde se recogen las inspecciones realizadas y sirve de protocolo para Garantía de Calidad.

Con el fin de liberar trabajo de conexionado, se formaron equipos de remates cuya misión era finalizar el tubo de llegada a los equipos y dejar la punta de cable dentro de ellos, lista para ser conectada.

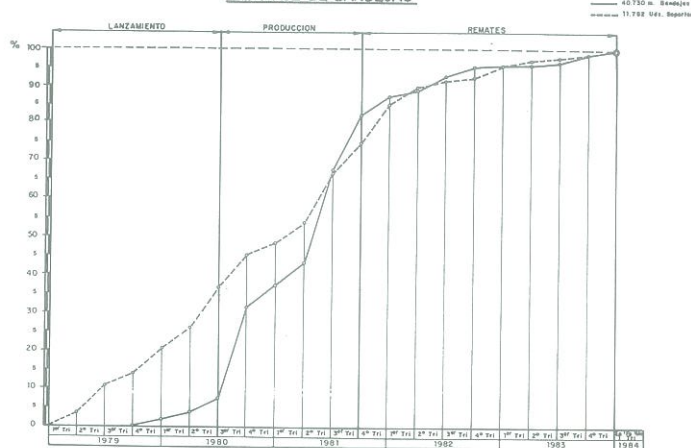
F IV

MONTAJE DE CONDUITS



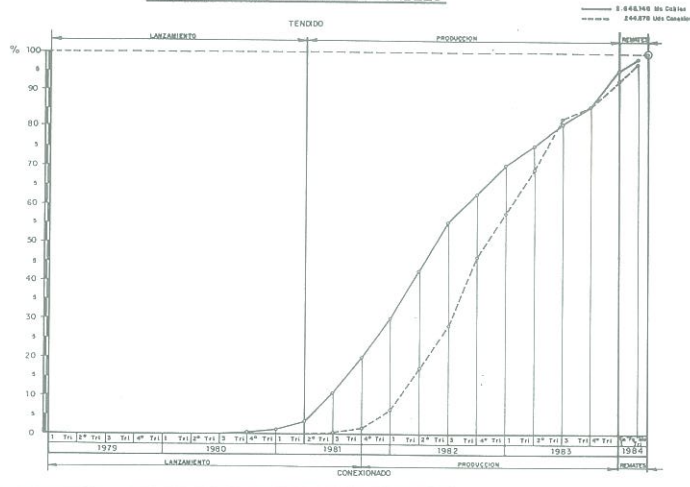
F V

MONTAJE DE BANDEJAS



F VI

TENDIDO Y CONEXIONADO DE CABLES



MODIFICACIONES EN EQUIPOS

Aquí cabe resaltar el gran número de cambios habidos, que arrojan cifras de 900 en equipos nacionales y de 1.500 en equipos suministrados por General Electric. Ello hizo que se dedicara un área de montaje específica a este cometido.

MONTAJE DE ALUMBRADO

El alumbrado se ha montado totalmente bajo tubo con cables unipolares.

El soportado sísmico de tubo se ha desarrollado totalmente mediante típicos, dada la simplificación existente de ir todo el montaje adosado a muros y estructuras, evitándose así un diseño en detalle.

MONTAJE DE INSTRUMENTACION

Cabe indicar únicamente el diseño sísmico de líneas de instrumentación; éste se efectuó como en el caso de conduits

en campo. Los diseños así realizados se validaban y documentaban posteriormente en oficina. La razón de esto, al igual que en los conduits, es la de ser uno de los montajes últimos que se realizan y no poderse tener en cuenta todas las posibles interferencias a priori.

RESULTADOS

RESUMEN DE DATOS

En la tabla 1 se dan, para las actividades más significativas, las mediciones, los rendimientos óptimos y medios, las producciones mensuales óptimas y medias en la fase de producción, y los coeficientes de correlación entre las unidades ejecutadas y las horas/hombre empleadas en el trabajo.

Con respecto al último dato, se han calculado los coeficientes de correlación entre la producción y las horas/hombre empleadas, tomando los datos mensuales obtenidos. Se observan que existen unos coeficientes muy buenos en aquellas actividades en las que el montaje no tenía condicionantes externos, como en el montaje de alumbrado, o bien estos condicionantes estaban resueltos, como en el tendido de cables, y en acometidas neumáticas. En ellos ha habido una buena utilización de la mano de obra, ya que el rendimiento obtenido ha sido bastante uniforme a lo largo de toda la actividad.

Las actividades con coeficiente de correlación bajo, han sido actividades en las que el rendimiento ha sido muy variable, debido a las faltas de definiciones, condicionantes por montajes anteriores sin finalizar, o por considerar en los rendimientos trabajos no finalizados o no uniformes, como el soportado sísmico en conduits y líneas de proceso, el cual no ha ido ligado al tendido.

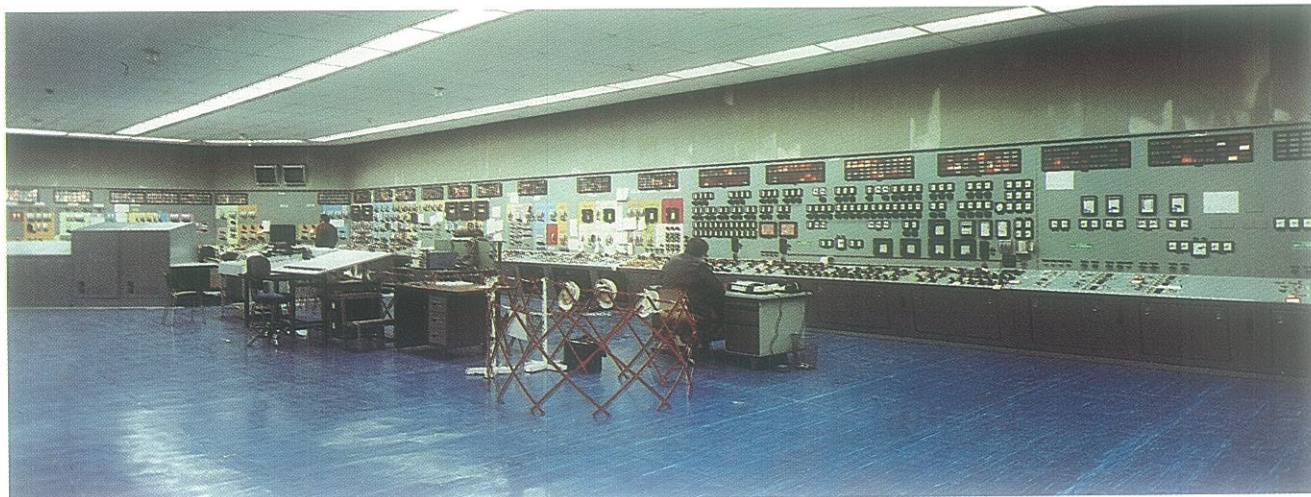
EVOLUCION DEL MONTAJE

En las figuras 2, 3 y 4 se presentan las curvas de ejecución-tiempo para las actividades principales del montaje eléctrico, que son las que marcan el plazo de realización de todos los trabajos.

RENDIMIENTOS

Con el fin de sacar algunas conclusiones, se han normalizado los rendimientos del siguiente modo: los rendimientos se expresan en tantos por uno respecto al rendimiento medio, así como las producciones se calculan en tantos por uno respecto al volumen total de trabajo.

Con ello se representan las gráficas, horas/hombre por unidad de obra acumuladas al origen-producción obteniéndose los siguientes resultados (figura 7). De su observación, se obtiene que el rendimiento acumulado alcanza su valor medio cuando se llega a un valor de producción entre el 25 y el 35%. Por ello, durante la fase de montaje se podrá predecir con suficiente aproximación las necesidades de personal para ajustarse



Sala de control.

a los programas previstos o bien determinar las fechas de finalización con los medios actuales, una vez se haya ejecutado ese 30 %. Así se tiene la posibilidad de programar con una buena precisión, evitando los cálculos demasiado optimistas que obtendrían al considerar los rendimientos obtenidos entre el 30 % y el 70 % de la actividad.

En el uso de este método, se han de considerar actividades elementales, por ejemplo, en la Central Nuclear Cofrentes, el montaje de conduits se ha realizado del siguiente modo: conduits sin soportado sísmico, se han montado por el sistema tradicional dejándolos acabados. Los conduits sísmicos se han montado inicialmente con soportes provisionales, habiéndose realizado una actividad posterior y desplazada en el tiempo respecto al tendido del tubo, consistente en su soportado sísmico. Podríamos, pues, aplicar el método anterior para las tres actividades siguientes independientemente unas de otras:

- Montaje conduits no sísmico.
- Tendido de conduits sísmicos.
- Montaje de soportes de conduits sísmicos.

Y obtendríamos un resultado similar al indicado anteriormente. No obstante, si se engloban las tres actividades en una única de montaje de conduits y dado que las horas/hombre de soportado sísmico se han cargado al final del montaje, sin una producción correspondiente de metros de tubo, se obtienen unas horas/hombre/m crecientes hasta el final del montaje. Igualmente sucede con el montaje del tubing de instrumentación (figura 8).

En general, una vez que se ha ejecutado el 30 % del trabajo y se tiene por tanto la productividad media, se podría calcular la curva de evolución normalizada a partir de este punto con suficiente aproximación, por un polinomio de tercer orden de la forma:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

en el que los parámetros serían los siguientes:

$$\begin{aligned} a &= 8,9285 \text{ (l-y)} \\ b &= 7,1428 \text{ (l-y)} \\ c &= 3,1248 \text{ (l-y)} \\ d &= 1 + 1,3391 \text{ (l-y)} \end{aligned}$$

siendo «y» el valor del rendimiento en

tanto por uno correspondiente a una producción x de 0,2 (20 %).

El polinomio nos aproxima la curva de evolución normalizada entre los valores $x = 0,3$ y $x = 1$.

