



Xavier MAS ARAGAY es Ingeniero Industrial por la ETSII de Barcelona. En 1974 ingresa en ENHER como miembro del Grupo de programación de la Dirección del Proyecto de CN ASCO. En 1979 es nombrado Jefe de la Unidad de Planificación, Control de Costes y Servicios Informáticos de la Dirección del proyecto de CN VANDELLOS II.

PLANIFICACION Y CONTROL EN LA CONSTRUCCION. APLICACION CONCRETA A LA PUESTA EN MARCHA

X. MAS ARAGAY

INTRODUCCION

Durante la etapa de proyecto, y antes del inicio de la construcción de la CN VANDELLOS II, ya se tenía conciencia de la necesidad de disponer de un programa general único que ordenara y secuenciara adecuadamente todas las actividades de diseño, suministro y construcción de la planta, y que representara un equilibrio en lo que a plazo se refiere, entre las necesidades de energías de las empresas, su coste y las posibilidades reales de ejecución por parte de los responsables directos de cada área.

Lógicamente, este programa debía ser tal que garantizara su propia validez como instrumento de coordinación entre las distintas áreas del proyecto, permitiendo en cada momento a los responsables de las mismas y a la propia Dirección de Proyecto la toma de decisiones más adecuadas en beneficio del plazo y coste de la construcción y puesta en marcha.

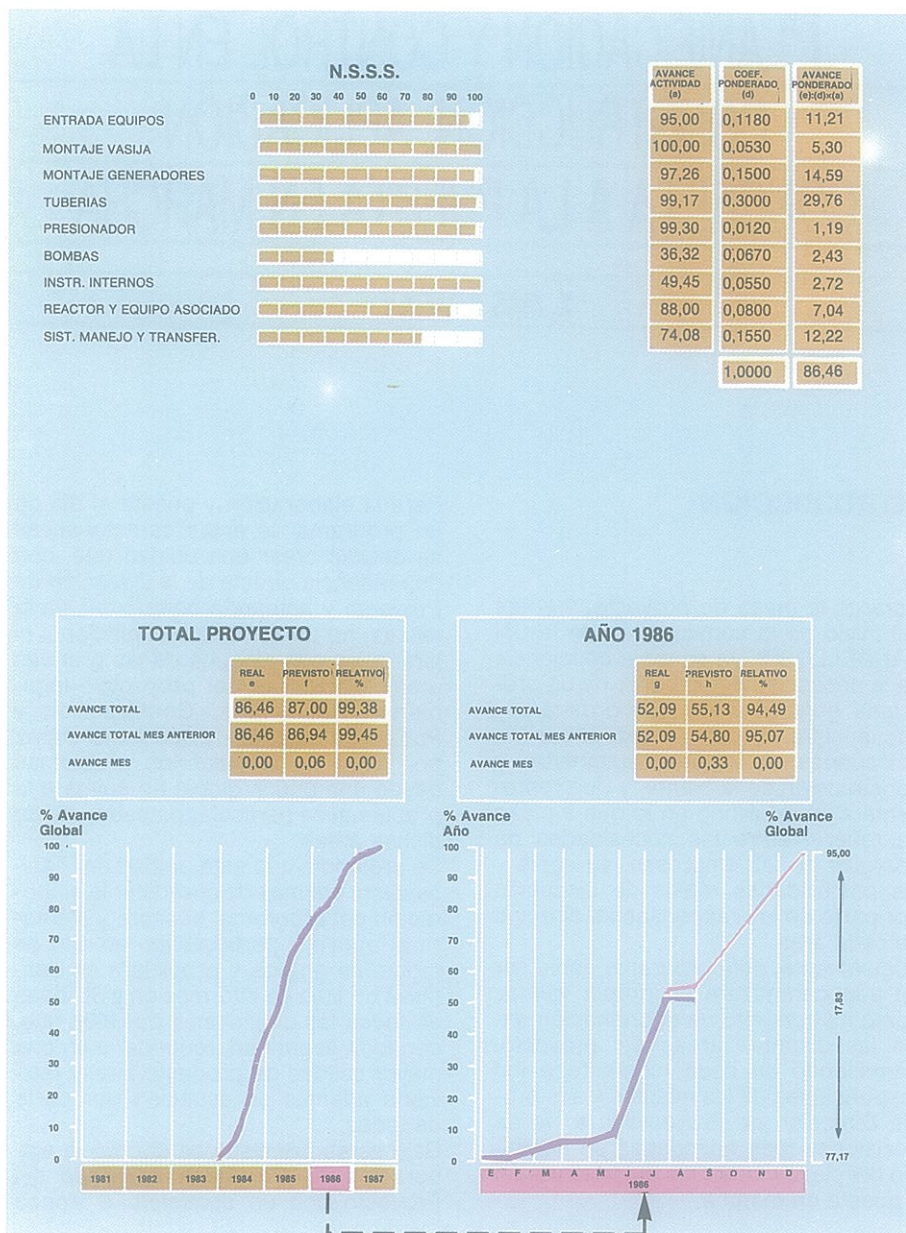
Para la elaboración y puesta al día de un programa de estas características se decidió crear una unidad que, con dependencia directa de la Dirección de Proyecto y actuando como staff de la misma, no tuviera relación funcional ni jerárquica con ninguna de las grandes áreas ejecutoras del proyecto —Ingeniería, Suministros, Construcción y Puesta en Marcha— y que fuera capaz por tanto de analizar los problemas desde una óptica global no sujeta a la problemática particular de cada una de dichas áreas.

Se pretendía que esta unidad de Planificación, además de coordinar la elaboración del programa, buscara y alentara el apoyo y participación en ello de todos los grupos y propiciara en definitiva un flujo de información y de ideas en todas las direcciones posibles que, con toda seguridad, redundaría en una mayor calidad de producto final y facilitaría además su asunción por parte de todos.

Bajo estas premisas se abordó la elaboración del Programa Integrado del Proyecto con un esqueleto o tronco

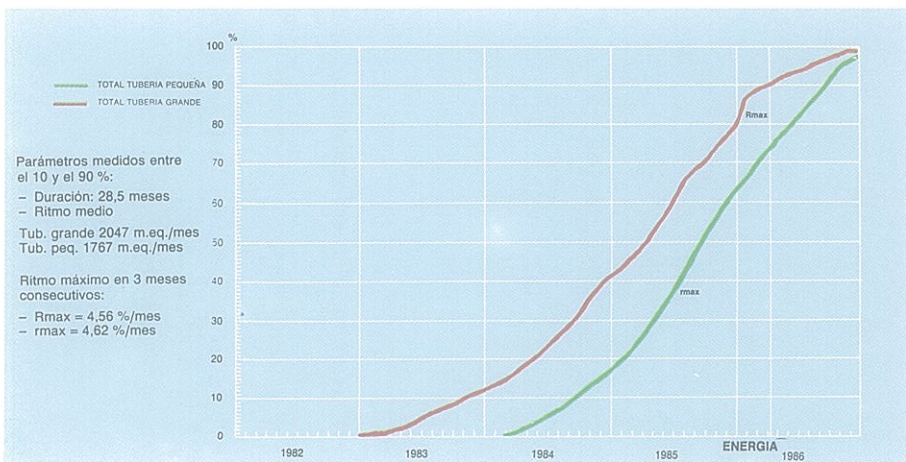
FI Sistema de medición de avances

AVANCE TOTAL DE CONSTRUCCION (100)	EXCAVACIONES Y RELLENOS (5)				
	OBRA CIVIL (53)	{	EAH (86)		
			CHAPAS, REVEST. (3)		
			ESTRUCT. METALICAS (4)		
			ARQUITECTURA (7)		100
	MONTAJES (42)	{	MONTAJES GENERALES (15)		
			MECANICOS		
		{	MONTAJES GENERALES (21)		
			ELECTRICOS		
		{	MONTAJES GENERALES (6)		
			DE CVAA		
		{	MONTAJE DE SISTEMAS (54)		
		{	ACABADOS DE SISTEMAS (4)		
			NSSS (25)		
			TG (21)		
			CONDENSADOR (13)		
			RESTO EQ. NUCLEARES (18)		
			RESTO E. CONVENCION (23)		100
			BANDEJAS (36)		
			CONDUITS (26)		
			EQ. ELECTRICO (7)		
			ALUMBRADO Y VARIOS (20)		
			PLAN DE SEGURIDAD (4)		
			RED DE P. A. TIERRA (7)		100
			CONDUCTOS (70)		
			EQUIPOS (15)		
			CONTRA INCENDIOS (15)		100
			TUBERIA GRANDE (54)		
			TUBERIA PEQUEÑA (21)		
			TENDIDO DE CABLES (10)		
			CONEXIONADO (5)		
			INSTRUMENTACION (10)		100
			LIMPIEZAS (45)		
			PRUEBAS HIDRAULICAS (19)		
			AISLAMIENTO (29)		
			ENTREGAS A PEM (6)		100



F II Medida de avances reales del montaje y su comparación con el programa en el caso concreto del NSSS

F III Avances históricos del montaje de tubería



principal que era el propio programa general de construcción y puesta en marcha, y con un ramificado fácilmente extraíble del mismo que eran los programas generales de ingeniería y de suministros. Es evidente que estos programas generales tenían que ser desarrollados a un mayor grado de detalle por los grupos responsables, para empezar a detectar posibles interferencias, condicionantes no previstos, etc., que irían modificando y dando forma cada vez más definitiva al citado programa integrado.

El primer problema con el que se topó en esta etapa, y que es normal en obras de este tipo, fue la indefinición inicial del proyecto. La falta de datos y el desconocimiento de lo que se tenía que hacer dificultó la participación y colaboración de los diferentes grupos en la elaboración del programa, ya que lo veían más como una entelequia que como una guía de sus actividades. Esta indefinición del proyecto era un problema cuya solución definitiva no se iba a dar hasta muy adelantados los montajes y, por tanto, podía seguir propiciando durante mucho tiempo incredulidad y desinterés por el programa general. Es por ello que desde prácticamente el inicio de sus actividades la unidad de Planificación tuvo que orientar sus esfuerzos en el diseño de una estrategia de programación que, además de conseguir un programa como el descrito, permitiera la incorporación paulatina de todos los grupos de proyecto en la propia dinámica de programación, consiguiéndose así su participación cada vez más activa en la elaboración final del programa general.

ESTRATEGIA DE PROGRAMACION

Para conseguir estos objetivos se diseñó una estrategia de programación cuyas líneas generales eran las siguientes:

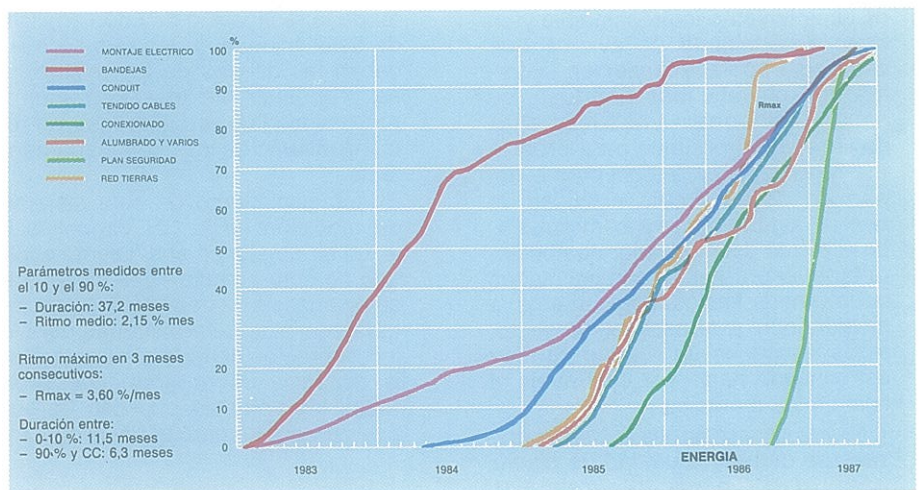
- Establecimiento del Programa Oficial del Proyecto en forma muy resumida con identificación precisa de los hitos fundamentales de la construcción y puesta en marcha cuyas fechas de cumplimiento se intentarían mantener inalterables a lo largo de todo el proyecto. La única forma posible de determinar estas fechas era a partir de las experiencias personales y de los datos disponibles de otras centrales extrapolados a las condiciones óptimas previstas para la nuestra. A medida que se tuviera un mejor conocimiento del proyecto se podrían ir fijando nuevos hitos, coherentes con los primitivos y, como ellos, con un carácter de objetivo inalterable. Puede pensarse que el producto final así obtenido tendría, sobre todo

al principio, un grado de fiabilidad muy bajo, pudiendo llegar incluso a dirigir u orientar de forma inadecuada los esfuerzos del proyecto. Se consideró, no obstante, que era preferible disponer de un programa teóricamente poco fiable, que empezar a trabajar en vacío con los problemas de habituación que ello acarrearía. Como mal menor, siempre cabía la posibilidad de irlo modificando de acuerdo con los datos de diseño disponibles en cada momento. De hecho, nuestro primer programa general emitido con esta filosofía en 1980 tan sólo tuvo que modificarse en mayo de 1984, en que se aceptaron tres meses de retraso en los hitos finales, y en octubre de 1985, con otros 4,5 meses de retraso, que ya fueron prácticamente los definitivos.

Definición de las condiciones previas y de entorno que debían darse para permitir el cumplimiento de cada una de las líneas de programa. La filosofía adoptada aquí fue muy exigente en el sentido de que se requería mucho más de lo que parecía razonable, siendo, por tanto, difícilmente aceptada sin más por los grupos responsables. De hecho, dicha filosofía iba en contra de la más pura ortodoxia de programación, ya que exigía para el inicio de cada macroactividad, la disponibilidad en obra de todos los planos, equipos y materiales involucrados, aun cuando se sabía positivamente que la duración de la misma podía permitir un relajamiento o secuenciación de las entregas que hubiese sido aparentemente más lógico desde el punto de vista de programación y, en cualquier caso, más favorable desde el punto de vista económico.

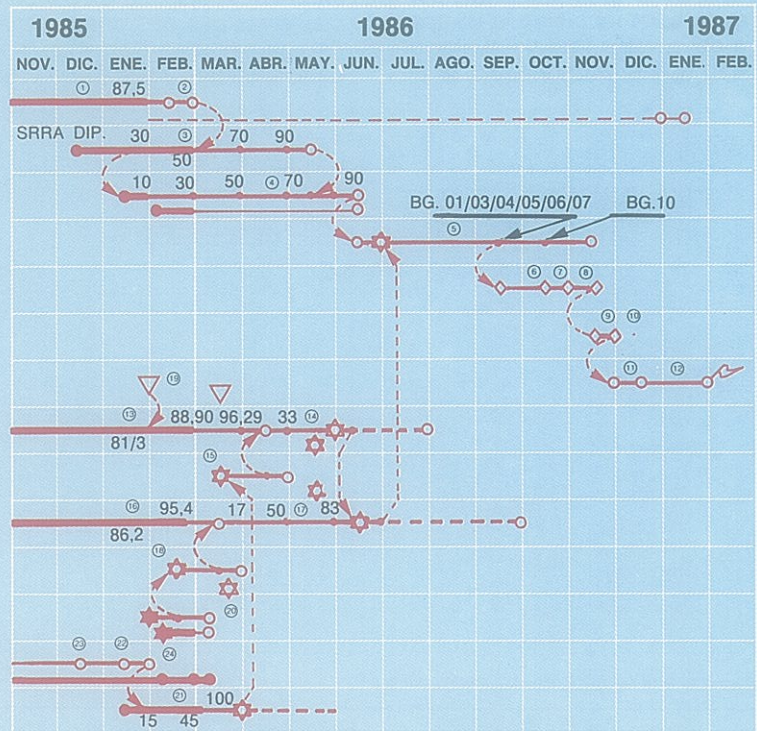
La razón por la que a pesar de todo se adoptó esta filosofía y se vigiló rigurosamente su cumplimiento fue porque entendimos que el fijar este margen o colchón garantizaba la continuidad de los trabajos aun en el caso más que probable de que se dieran deslizamientos sistemáticos y aleatorios sobre las previsiones de entrega establecidas. La propia indefinición del proyecto, así como las características especiales de los materiales utilizados, favorecieron notablemente estos deslizamientos.

Establecidas en el primer punto las líneas fundamentales del programa y definidas en el segundo las condiciones previas o de entorno para acometerlas, se podía proceder a la elaboración detallada del programa actividad por actividad. En esta fase es donde se podía iniciar la participación de los grupos ejecutores, y era fundamental que esta participación fuera lo más activa posible. Al principio, con sólo unos pocos hitos



F IV Avances históricos de los montajes eléctricos

F V Programa de Actividades Críticas. Prueba en frío del primario.



ACTIVIDAD		AVANCE		
N.º	DESCRIPCION	REAL.	PREV.	RELAT.
1	AJUSTE INTERNOS VAS.	100	100	-
2	PH CAVIDAD	-	-	-
3	LIMPIEZA BG	55	50	1,10
4	PH SIST. BG	10	30	0,34
5	PRUEBAS PEM SIS. BG	-	-	-
6	PPN BG 201	-	-	-
7	PPN BC 201	-	-	-
8	PPN BH 201	-	-	-
9	PPN BJ 201	-	-	-
10	PPN BG 204	-	-	-
11	LIMP. LAZOS VAS. Y PRES.	-	-	-
12	MONT. INTER. Y TAPA	-	-	-

ACTIVIDAD		AVANCE		
N.º	DESCRIPCION	REAL.	PREV.	RELAT.
13	MONT. MEC. SIST. EF	89,42	88,86	1,01
14	ACABADOS SIST. EF	-	-	-
15	ENTREGA A PEM BOMBAS EFPO1 A-B-C	-	-	-
16	MONT. MEC. SIST. EG	89,50	95,4	0,94
17	ACABADOS SIST. EG	-	-	-
18	ENTREGA A PEM BOMBAS EGPO 1 A-B-C-D	-	-	-
19	SUMINISTRO TUB. MONEL	-	100	-
20	PRUEBAS PEM SIST. PB	0	-	-
21	ACABADOS SIST. AR	56,44	15	3,76
22	FINAL. O.C. GALERIA C.B.	100	100	-
23	FINAL O.C. BANCO COND. A CASA BOMB.	100	100	-
24	FIN MONT. AR 023	100	100	-

de cumplimiento imprescindible y un ritmo determinado de avance que cada cual podía alcanzar en la forma que creyera más oportuna, se daba a cada grupo unos márgenes de libertad amplísimos para programar y definir la estrategia para el desarrollo de su propia actividad, lo que de alguna manera contrarrestaba el efecto desmotivador que pudiera tener el programar con estimados poco o nada fiables. Lógicamente, a medida que avanzaba el proyecto, estos márgenes de libertad se iban estrechando hasta ser casi nulos al final de los montajes.

Una vez desarrollados estos programas de detalle, la unidad de planificación debía coordinarlos y agruparlos por áreas o por sistemas hasta lograr lo que tenía que ser el definitivo Programa General del Proyecto.

- El establecimiento de un sistema fiable de medición de avances que permitiera en cada momento la comparación del avance real de cualquier actividad con el programado, facilitando la realización de unos análisis de desviaciones en los que se buscaban las causas de las mismas y se proponían medidas correctoras para minimizar su impacto en el cumplimiento de los hitos fundamentales.

tando la realización de unos análisis de desviaciones en los que se buscaban las causas de las mismas y se proponían medidas correctoras para minimizar su impacto en el cumplimiento de los hitos fundamentales.

El establecimiento de este sistema de medición en la CN Vandellós II —que se detalla en el siguiente capítulo de este artículo— y la sistemática de análisis de desviaciones adoptada, han sido determinantes para la incorporación de todo el personal en la dinámica de programación, con todas las ventajas que ello ha supuesto para la marcha del proyecto.

SISTEMA DE MEDICION AVANCES

El sistema ideado para la medición de avances en la CN Vandellós II está basado en un sistema de ponderaciones sucesivas que nos puede llevar a medir una actividad elemental, en puntos de avance de construcción total. El de-

sarrollo de este sistema y las ponderaciones que corresponden a cada actividad se muestran en la figura 1.

En el ejemplo concreto de NSSS que se muestra en la figura II, puede verse un desglose característico de las actividades finales, y a la vez la forma con que comparábamos la realidad con el programa. Estos gráficos para cada una de las actividades de la Central nos permitían realizar unos análisis de desviaciones muy ajustadas a la realidad y detectar asimismo los problemas más importantes.

APLICACION DE LA PLANIFICACION A LA PUESTA EN MARCHA DE LA CN VANDELLOS II

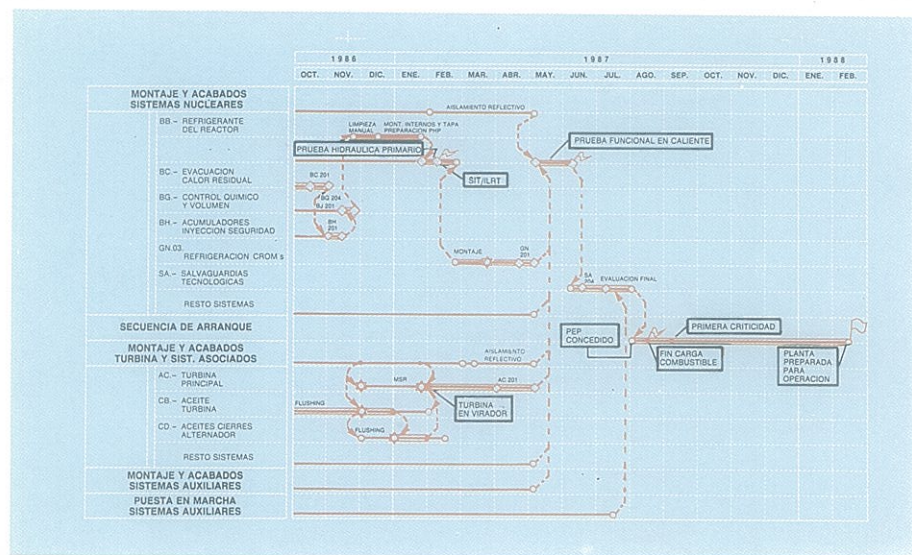
De acuerdo con la filosofía de planificación que nos habíamos fijado, ya en los primeros programas integrados del proyecto aparecían los cuatro hitos fundamentales de la puesta en marcha, a saber:

- ENERGIZACION
- PRUEBA HIDRAULICA DEL PRIMARIO
- PRUEBA FUNCIONAL EN CALIENTE
- CARGA DE COMBUSTIBLE

cuya distancia relativa se fijó ya en 1980 antes de iniciarse la construcción de la planta:

HITO	MES DE CUMPLIMIENTO
ENERGIZACION	0
PRUEBA HIDRAULICA DEL PRIMARIO	9
PRUEBA FUNCIONAL EN CALIENTE	12
CARGA DE COMBUSTIBLE	15

Estos plazos entre hitos, de acuerdo también con la filosofía de programación, se han mantenido escrupulosamente hasta la edición de la última



F VI Programa final resumido de actividades críticas

F VII Medida de avances de las pruebas de subsistemas en la PEM y su comparación con el programa

SUBSIST. PEM	AVANC. ENTRE	AVANC. COMP	AVANC. FUNC	AVANC. SUBS	DES. POND.	1986					1987					PESO	NUM. COMP	PG. NO	CC
						OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.				
AR 08	100	100	100	100	0	100										0,03	10	4	
AR 10	100	100	100	100	0	100										0,03	2	4	
AS 01	0	12	0	8	-0,202				0	13	61	96	100			0,22	424	3	
AS 02	0	14	0	10	-0,199				0	13	61	96	100			0,22	368	3	
AS 03	0	14	0	9	-0,199				0	13	61	96	100			0,22	385	3	CP
UB 01 A	100	96	98	97	-0,009		0	40	100							0,27	380	1	CP
BB 01 B	100	100	98	100	-0,001	7	100									0,27	104	1	CP
BB 02	100	66	99	76	-0,129			0	60	99	100					0,54	110	1	CP
BB 03	100	68	98	77	-0,023	100										0,10	38	1	
BB 04	100	64	98	75	-0,038	100										0,15	90	1	
BB 05	100	100	99	-100	-0,001	0	89	100								0,54	103	1	CP
BB 06	100	97	100	98	-0,010	0	80	100								0,54	284	1	CP
BB 07	100	99	70	92	-0,042					0	9	100				0,55	91	1	
BC 01	100	100	100	100	0	100										1,06	284	1	CP
BG 01	100	80	97	85	-0,079	100										0,54	374	1	
BG 02	100	100	90	98	-0,002	100										0,10	7	1	

						1986			1987								CC	PESO	NUM. HO
NUM PPN	FECHA IN.PRO	FECHA F.PRO	FECHA F.PRE	DESV. DIAS	AVC	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.			
GN	201	870421	870505	870422	13	100						XXXX					CP	0,40	5
GN	301	870505	870609	870530	10	100							XXXXXXXXXX				CP	0,40	5
GP	201	870210	870224	870217	7	100											CP	0,80	5
GP	202	870210	870224	870217	7	100											CP	1,60	5
GS	201	870324	870421	870621	-61	0						XXXXX						0,40	5
GT	201	870324	870414	870620	-67	0						XXXXX						0,40	5
GT	202	870414	870505	870707	-63	0						XXXXX						0,40	5
GZ	201	870616	870630	870620	10	0									XXX			0,40	5
HA	201	870120	870217	870410	-52	100												0,40	5
HB	201	870310	870407	870324	14	100												0,80	5
HB	202	870407	870505	870514	-9	100												0,80	5
HC	201	870324	870414	870619	-66	0												0,40	5

F VIII Medida de avances de las pruebas prenucleares (PPN's) y su comparación con el programa

revisión del programa integrado del Proyecto en noviembre de 1985, en la que se concedían 15,5 meses de plazo entre la energización o inicio de pruebas de los sistemas mecánicos y la carga de combustible. El cumplimiento definitivo de estos hitos fue, para la energización, el 8.4.86 y para la carga de combustible el 20.8.87, si bien el día 27 de julio del mismo año -15,5 meses después de la energización-, la planta estaba lista para iniciar las operaciones de carga y sólo se estaba pendiente de la obtención del permiso definitivo.

Asimismo, los hitos intermedios «Prueba Hidráulica del Primario» y «Prueba Funcional en Caliente», ocurrieron 9,5 y 12,5 meses, respectivamente, después de la energización, prácticamente igual a como se había previsto inicialmente.

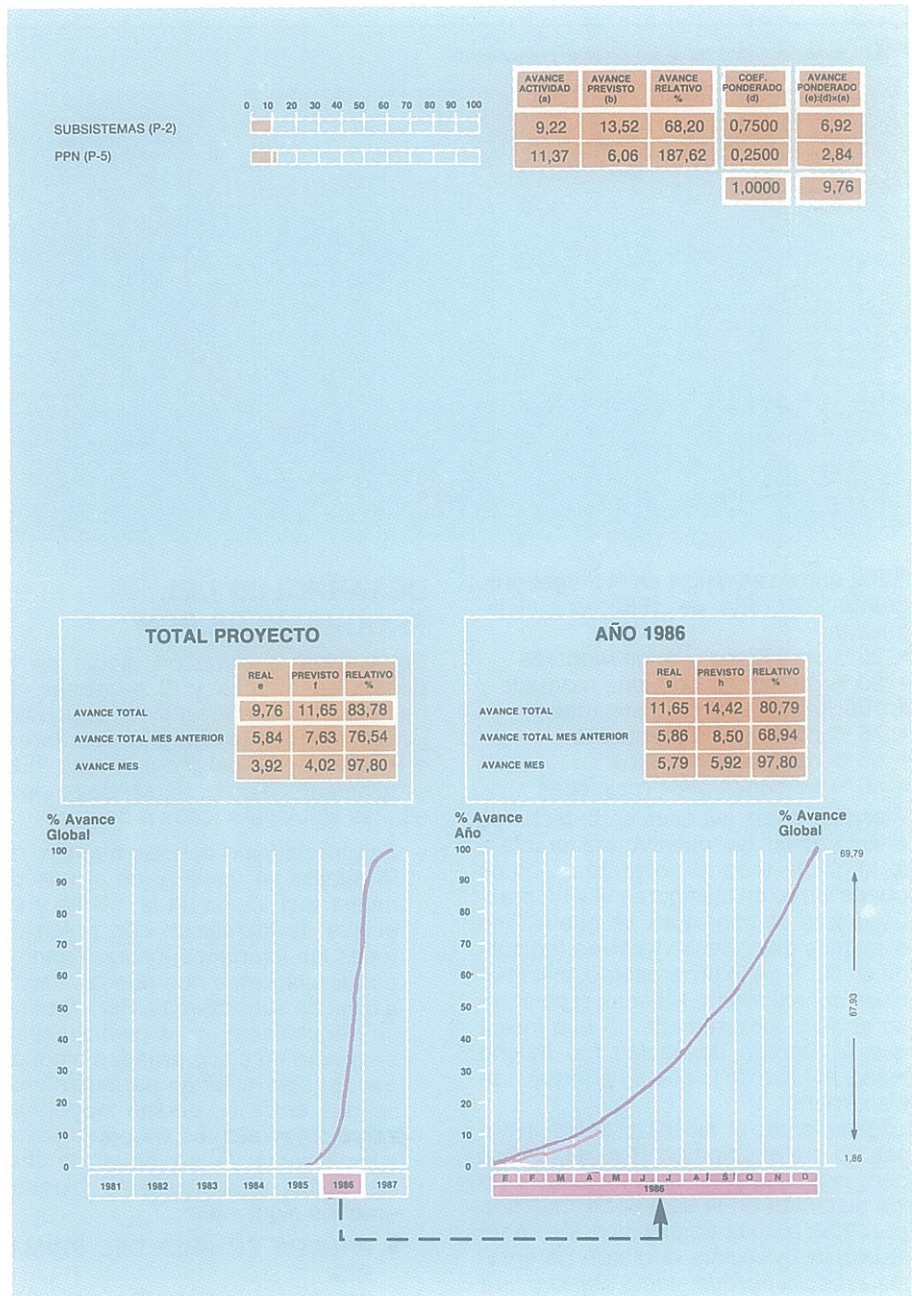
El éxito de este cumplimiento riguroso de un programa tan ajustado se debe fundamentalmente a la buena labor desarrollada por la unidad encargada de la realización de la puesta en marcha, pero también fue determinante para ello el estado en que se encontraban tanto el diseño como los montajes al inicio de la misma, o sea, la forma en que se cumplieron las condiciones previas o de entorno predefinidas.

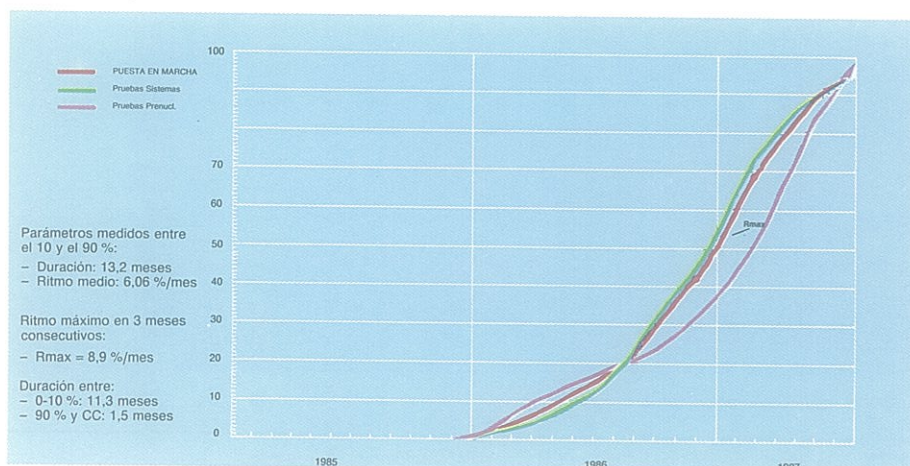
CONDICIONES PREVIAS AL INICIO DE LA PEM

Para que el plazo establecido para la realización de la Puesta en Marcha pudiera ser considerado como cumplible, era preciso establecer y conseguir al inicio de la misma, unos objetivos de avance de montajes muy exigentes que contrarrestaran el efecto negativo que tendrían sobre el programa las innumerables interferencias y modificaciones que irremediamente iban a surgir. Era necesario enfocar el acabado de los montajes de tal manera que permitiera siempre la adopción de caminos alternativos, cuando situaciones imprevistas impidieran avanzar por el programado.

El avance de montajes al inicio de la

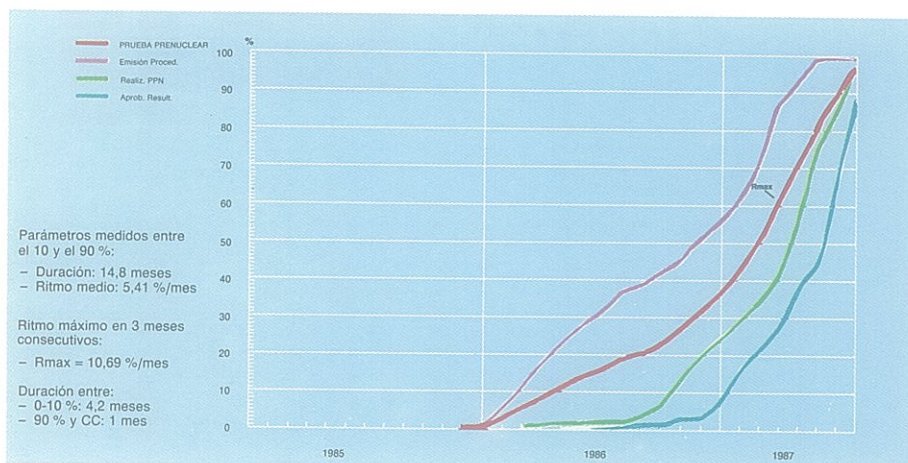
F IX Medida de avances reales en la PEM y su comparación con el programa





FX Avances históricos del conjunto de la PEM

FXI Avances históricos de las pruebas prenucleares



PEM, que ya se exigía en el primer programa integrado de 1980, era el siguiente:

- 90 % de tubería grande montada
- 80 % de tubería pequeña montada
- 100 % de bandejas instaladas
- 75 % de conduits montados
- 65 % de cables tendidos
- 40 % de conexiones realizadas

Alcanzar estos avances en la fecha de energización fue objetivo inalterable a lo largo de todo el proyecto, y, como puede verse en las figuras III y IV, prácticamente se consiguió, ya que si bien el avance de conduits y cables fue sólo de un 80 % de lo programado, el número de conexiones realizadas sí se acercó al 40 % programado, lo que indica que el tendido de cables fue mucho más selectivo de lo que en principio cabía esperar.

Lógicamente, el alcanzar estos avances no era el único objetivo de la obra que, por supuesto, debía ir acabando los sistemas en la secuencia marcada por PEM; pero tanto planificación como la propia Dirección, le dieron un énfasis especial porque, como objetivo, era el más fácilmente relegable por parte de los grupos implicados.

DESARROLLO DEL PROGRAMA DE PEM

Establecida la duración global de la puesta en marcha y el programa de montajes para apoyarla, se procedió, juntamente con los grupos ejecutores, a la elaboración del programa de PEM propiamente dicho, siguiéndose para ello las siguientes fases o etapas:

- Establecimiento del plan maestro de la puesta en marcha, en el que se muestra la lógica de la misma y en el que se identifican con precisión todas las interfases, condicionantes e interrelaciones que puedan existir a nivel de subsistemas. Para facilitar su seguimiento, este plan maestro se dividió en cinco grandes bloques que, si bien estaban perfectamente ligados entre sí, podían independizarse a los efectos de perseguir el cumplimiento de sus objetivos finales. Estos cinco grandes bloques eran los siguientes:

- PRUEBA EN FRIO DEL PRIMARIO
- PRUEBA HIDRAULICA DEL SECUNDARIO

- TURBINA Y SISTEMAS ASOCIADOS
- ENERGIZACION
- SISTEMAS AUXILIARES

Estos programas desaparecieron al irse cumpliendo sus objetivos, siendo sustituidos al final por un único programa que cubría la Prueba Funcional en Caliente, la Prueba Integrada de Salvaguardias, la propia carga de combustible y la realización de la secuencia de arranque que ya era responsabilidad de explotación.

De los grandes grupos citados se podía extraer su propio camino crítico, del que se hacía un seguimiento escrupuloso por parte de la Dirección, plasmándose en los PAC's "Programas de Actividades Críticas", tal como puede verse en el ejemplo de la figura V.

Igualmente, estos PAC's desaparecieron al irse cumpliendo sus hitos, quedando al final un único programa resumido de actividades críticas, que es el que se muestra en la figura VI.

- Establecimiento de los programas de detalle a partir del lógico descrito en el apartado anterior. El alcance de estos programas podía dividirse en dos partes perfectamente diferenciadas; la que cubría las pruebas de componentes y funcionales y la que cubría las PPN o pruebas prenucleares.

Para los primeros, el nivel de detalle escogido fue el de subsistemas, por ser éstos los conjuntos más simples o elementales con funcionalidad propia. El número total de sistemas de diseño de la planta era de 117, divididos en un total de 532 subsistemas. El programa de detalle de pruebas de subsistemas indicaba para cada uno de los 117 sistemas de la planta, las fechas de entrega de obra a PEM de cada subsistema, su fecha de finalización de montajes, el inicio y final de las pruebas de componentes y funcionales, así como las fechas previstas de realización y de emisión de procedimientos de las PPN's, en las que estaban involucrados. Además de todo ello y para cada sistema se indicaban en estos programas las fechas en que debían cumplirse los siguientes hitos de diseño:

- Emisión de la descripción del sistema.
- Emisión de Puntos de Tarado.
- Emisión de las Especificaciones de Prueba.
- Final de diseño para limpiezas y pruebas hidráulicas.
- Final de diseño total.

Con ello, tanto los grupos de montaje como los de diseño, disponían de

sus propios programas detallados de finalización de actividades que siempre eran coherentes con el programa de pruebas y con el propio plan maestro de Puesta en Marcha.

SISTEMA DE MEDICION Y CONTROL DE AVANCES DE PEM

Al igual que se hizo en la construcción, también en Puesta en Marcha se estableció un sistema de ponderaciones para la medición de avances. (Fig. XIV) Cada una de las actividades finales se medía directamente para cada subsistema o PPN, y ponderando éstos adecuadamente dentro de su propio conjunto, permitía medir su avance global. En la figura VII puede verse cómo, establecido el avance de cada actividad elemental —Prueba de Componentes, Prueba Funcional y aceptación de entrega—, se determinaba el avance de pruebas de subsistemas para cada uno de ellos, comparándose éstos con los previamente programados.

Igualmente, en la figura VIII puede verse la comparación entre avances reales y programados de la ejecución de las PPN, indicándose incluso los días de desviación y la pertenencia o no de cada una de ellas a los caminos críticos del Primario o del Secundario. A partir de estos datos podían establecerse los cuadros de desviaciones, cuyo resumen —el correspondiente al total de PEM— puede verse en la figura IX.

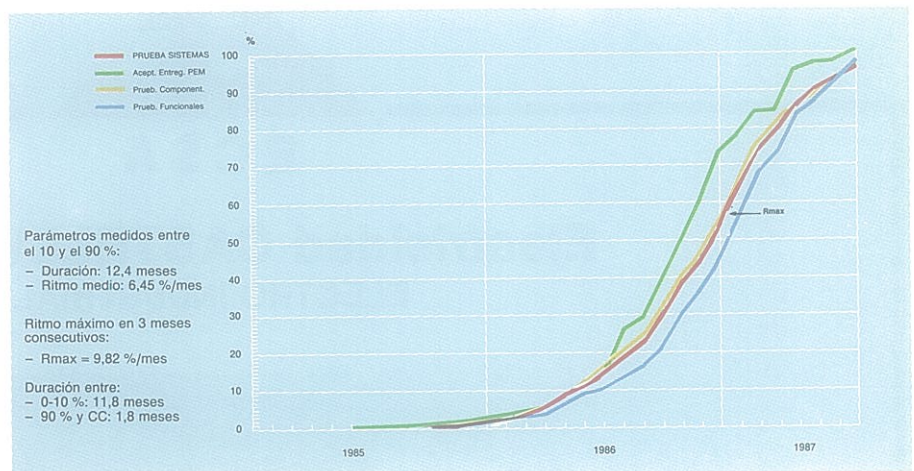
La evolución real de las actividades en que se ha dividido la PEM, así como la del total de construcción de la planta, medidas en la forma establecida para controlar su avance, es la que se indica en las figuras X, XI, XII y XIII.

CONCLUSIONES

La programación utilizada en la realización de la puesta en marcha de la CN Vandellós II, al igual que la que se utilizó en construcción, es un sistema muy sencillo basado en tres principios fundamentales:

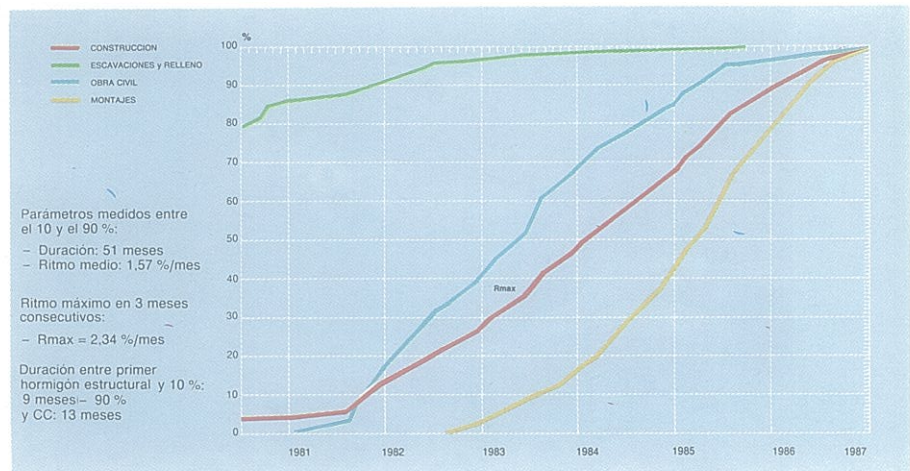
- Mantenimiento a ultranza de los objetivos iniciales, que sólo se deben modificar en el caso en que su cumplimiento ya sea totalmente imposible.
- Participación de TODO el proyecto en la dinámica de programación.
- Establecimiento de un sistema fiable de medición de avances, aceptado por todos y mantenido inalterable hasta el final.

De este modo se consiguió un sistema flexible que otorgaba gran libertad de acción a los responsables de la ejecución, y que acabó por constituirse en un instrumento de autoactivación de

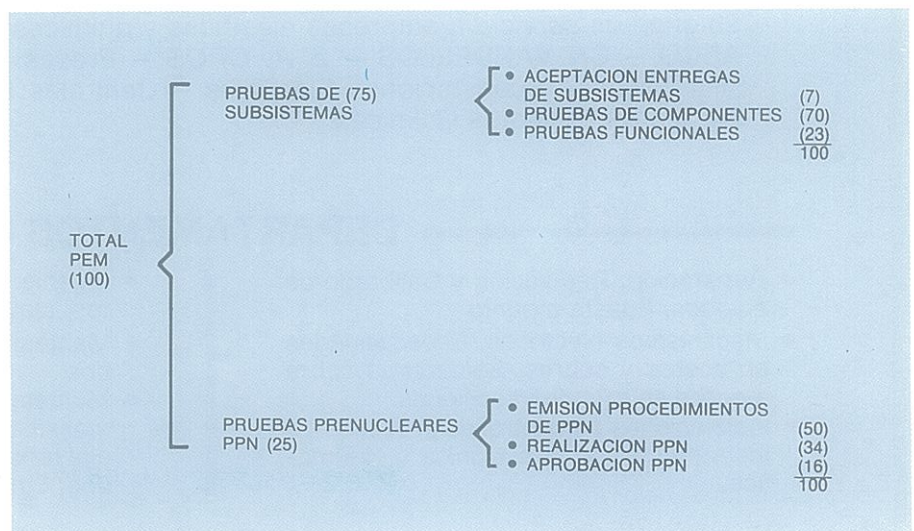


F XII Avances históricos de las pruebas de sistemas

F XIII Avance histórico del conjunto de la construcción



F XIV Medición y control de avances de PEM



gran valor para el proyecto. La planificación no es la mera aplicación de sistemas más o menos sofisticados en la elaboración de programas. La planificación es una forma de ges-

tión integral del proyecto cuyo éxito radica, además de en el cumplimiento de sus programas, en el hecho de que como sistema sea usado y aceptado por quienes tienen que cumplirlos.