



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**CAMINOS
UPV**

PROGRAMACIÓN
DE PROYECTOS

**COEFICIENTES
METEOROLÓGICOS**

J. Alcalá

*Departamento de Ingeniería de la Construcción
y de Proyectos de Ingeniería Civil*

Programación de Proyectos
COEFICIENTES METEOROLÓGICOS

©2025 Julián Alcalá González (jualgon@upv.es)



Departamento de Ingeniería de la Construcción
y de Proyectos de Ingeniería Civil
Ref.: 0023-0056-PRC-00362-0025
Documento elaborado en L^AT_EX

Índice

1. Introducción	3
2. Criterios meteorológicos	4
2.1. Día trabajable	5
2.2. Temperatura límite del ambiente para la ejecución de unidades bituminosas	5
2.3. Temperatura límite del ambiente para la manipulación de materiales naturales húmedos	5
2.4. Precipitación límite	5
3. Inclemencias meteorológicas	5
4. Coeficientes meteorológicos	8
4.1. Festivos	8
4.2. Coeficiente agregado	8
Ejercicio resuelto	10
Referencias	18

(Página intencionadamente dejada en blanco)

1. Introducción

Las grandes obras de ingeniería civil que se construyen en la intemperie están sometidas a las inclemencias meteorológicas que se van a producir tarde o temprano, y que van a obligar a detener los trabajos. Por poner un ejemplo, es imposible evitar que algunos días de invierno se alcancen temperaturas bajo cero en obras de alta montaña, lo que impedirá la colocación de hormigones. Si hay que colocar muchos metros cúbicos de hormigón en una presa, por ejemplo, deberá tenerse en cuenta en la programación el tiempo que no se podrá trabajar. O el caso de una obra marítima de larga duración, en el que seguro que habrán días de temporal que no permitirán los trabajos.

Es evidente que en las actividades de corta duración el riesgo de no poder trabajar unos días por una inclemencia meteorológica existe, pero en plazos cortos la probabilidad de que eso suceda es pequeña, y si ocurre, no provoca grandes desviaciones respecto al programa previsto. Siempre se pueden tomar medidas para recuperar el tiempo perdido reprogramando las tareas restantes.

Pero en actividades de larga duración la probabilidad de que se pierdan días de trabajo es mucho más alta, es casi una certeza, y además estos retrasos son más difíciles de recuperar, y la reprogramación más compleja. Lo razonable y realista es hacer algunas correcciones en las duraciones de las actividades, o en los rendimientos de las mismas, para considerar esas paradas no programadas.

El método que se va a describir a continuación fue elaborado en 1964 por la Dirección General de Carreteras del entonces Ministerio de Obras Públicas[1]. En esta publicación se describe una metodología para la obtención de coeficientes correctores de las duraciones de las actividades típicas de la construcción de carreteras que suelen tener largas duraciones, al tiempo que proporciona unos mapas de isóneas con datos de precipitación, temperatura e insolación, así como otros con los coeficientes ya obtenidos (figura 1).



Figura 1: Portada de la publicación Datos Climáticos para Carreteras[1]

Pero más allá de los criterios y los datos que contiene, lo que hace que esta publicación tenga un indudable interés es la metodología que se emplea, y que se puede resumir del modo siguiente:

1. Para cada actividad se establecen las condiciones meteorológicas que pueden detenerla, y los límites para ello.
2. Se recopilan datos mensuales del clima en la ubicación de la obra.



Figura 2: Actividades sujetas a correcciones de programación por inclemencia meteorológica.

3. Se obtienen unos coeficientes de inclemencia meteorológica para cada mes y cada actividad.
4. Se obtiene el calendario laboral de la obra.
5. Se obtienen los coeficientes de días festivos mes a mes.
6. Se obtiene el coeficiente meteorológico agregado por mes y por actividad, teniendo en cuenta la influencia de los festivos.
7. Se obtienen los días de trabajo de cada mes a considerar en la programación de cada actividad.

Las actividades que se consideran en esta publicación son hormigones hidráulicos, explanaciones, producción de áridos, riegos y tratamientos superficiales o por penetración, y mezclas bituminosas (figura 2). Pero esta metodología puede aplicarse a cualquier actividad de larga duración si se definen unos límites de inclemencia y se cuenta con información sobre la meteorología de la zona. Por ejemplo, pueden hacerse correcciones relacionadas con el viento, si alguna actividad de la obra fuese sensible a este fenómeno, y se tuviesen datos del viento en la ubicación de las obras.

En los apartados que siguen se desarrolla la metodología de la mencionada publicación, y en el apartado 4.2 se presenta un ejemplo práctico de aplicación del método.

2. Criterios meteorológicos

Para cada actividad de las que se contemplan en las obras de carreteras se establecen los criterios meteorológicos para que dicha actividad pueda ser realizada. Estos criterios proceden del *Pliego General de Carreteras y Puentes* (PG3) del Ministerio de Fomento¹.

La publicación parte de los criterios siguientes:

¹Pueden descargarse en: www.mitma.gob.es

2.1. Día trabajable

Para cada actividad se entiende por día trabajable en cuanto a clima se refiere el día en que la precipitación y la temperatura del ambiente sean inferior y superior respectivamente a los límites que se definen más adelante. Puede ser que un día no sea trabajable, pero por ser festivo.

No se tienen en cuenta las altas temperaturas del ambiente que impidan la puesta en obra del hormigón, tanto por el número inapreciable de días en que se dan como por caer dentro del microclima de una zona reducida.

2.2. Temperatura límite del ambiente para la ejecución de unidades bituminosas

Se define como temperatura límite del ambiente para la ejecución de riegos, tratamientos superficiales o por penetración, y mezclas bituminosas, aquellas que se aceptan normalmente como límite por debajo del cual no pueden ponerse en obra estas unidades. En este estudio se toma como temperatura límite de puesta en obra de riegos y tratamientos superficiales o por penetración, la de 10°C; y para mezclas bituminosas la de 5°C.

2.3. Temperatura límite del ambiente para la manipulación de materiales naturales húmedos

Se define como temperatura límite del ambiente para la manipulación de materiales naturales húmedos 0°C.

2.4. Precipitación límite

Se establecen dos valores de la precipitación límite diaria: 1 mm por día y 10 mm por día. El primer valor limita el trabajo en ciertas unidades sensible a una pequeña lluvia; y el segundo de los valores limita el resto de los trabajos. Se entiende que, en general, con precipitación diaria superior a 10 mm no puede realizarse ningún trabajo sin protecciones especiales.

3. Inclemencias meteorológicas

De acuerdo con los criterios del apartado anterior, se definen los coeficientes meteorológicos que siguen, referidos siempre a un mes natural:

Coefficiente de reducción por heladas η_m Se define el coeficiente de reducción por heladas η_m como el cociente entre los días del mes m en que la temperatura es superior a 0°C y el número de días del mes.

$$\eta_m = \frac{\text{Nº de días del mes } m \text{ de temperatura mínima } > 0^\circ\text{C}}{\text{número de días del mes } m} \quad (1)$$

Coefficiente de reducción por temperatura límite de riegos τ_m Se define el coeficiente de reducción por temperatura límite de riegos, tratamientos superficiales o por penetración τ_m como el

cociente entre el número de días en que la temperatura a las 9 de la mañana es igual o superior a 10°C y el número de días del mes.

$$\tau_m = \frac{\text{Nº de días del mes } m \text{ en que la temperatura a las 9 de la mañana es } > 10^\circ\text{C}}{\text{número de días del mes } m} \quad (2)$$

Coefficiente de reducción por temperatura límite de mezclas bituminosas τ'_m Se define el coeficiente de reducción por temperatura límite de mezclas bituminosas τ'_m como el cociente entre el número de días en que la temperatura a las 9 de la mañana es igual o superior a 5°C y el número de días del mes.

$$\tau'_m = \frac{\text{Nº de días del mes } m \text{ en que la temperatura a las 9 de la mañana es } > 5^\circ\text{C}}{\text{número de días del mes } m} \quad (3)$$

Coefficiente de reducción por lluvia λ_m Se define el coeficiente de reducción por lluvia límite de trabajo λ_m como el cociente entre el número de días en que la precipitación es inferior a 10 mm y el número de días del mes.

$$\lambda_m = \frac{\text{Nº de días del mes } m \text{ con precipitación } < 10 \text{ mm}}{\text{número de días del mes } m} \quad (4)$$

Coefficiente de reducción por lluvia λ'_m Se define el coeficiente de reducción por lluvia límite de trabajo λ'_m como el cociente entre el número de días en que la precipitación es inferior a 1 mm y el número de días del mes.

$$\lambda'_m = \frac{\text{Nº de días del mes } m \text{ con precipitación } < 1 \text{ mm}}{\text{número de días del mes } m} \quad (5)$$

Para conocer estos datos se puede recurrir a los mapas de isocías de la publicación Datos Climáticos para Carreteras[1] (ver figura 3). Por ejemplo, en ese mapa de isocías se ve que para la ciudad de Valencia en el mes de diciembre se tiene un coeficiente $\tau_{12} = 0.5$. También pueden consultarse en la página web de la Agencia Estatal de Meteorología AEMET², o estimarse a partir de los datos del Atlas Climático[2] de la AEMET.

Con estos coeficientes se pueden obtener ahora los agregados para cada actividad, de acuerdo con los criterios definidos en los epígrafes 2.2 a 2.4:

- Hormigones hidráulicos

$$K_{m,\text{hormigones}} = \eta_m \cdot \lambda_m \quad (6)$$

- Explanaciones

$$K_{m,\text{explanaciones}} = \eta_m \frac{\lambda_m + \lambda'_m}{2} \quad (7)$$

- Producción de áridos

$$K_{m,\text{aridos}} = \lambda_m \quad (8)$$

²<http://www.aemet.es/>

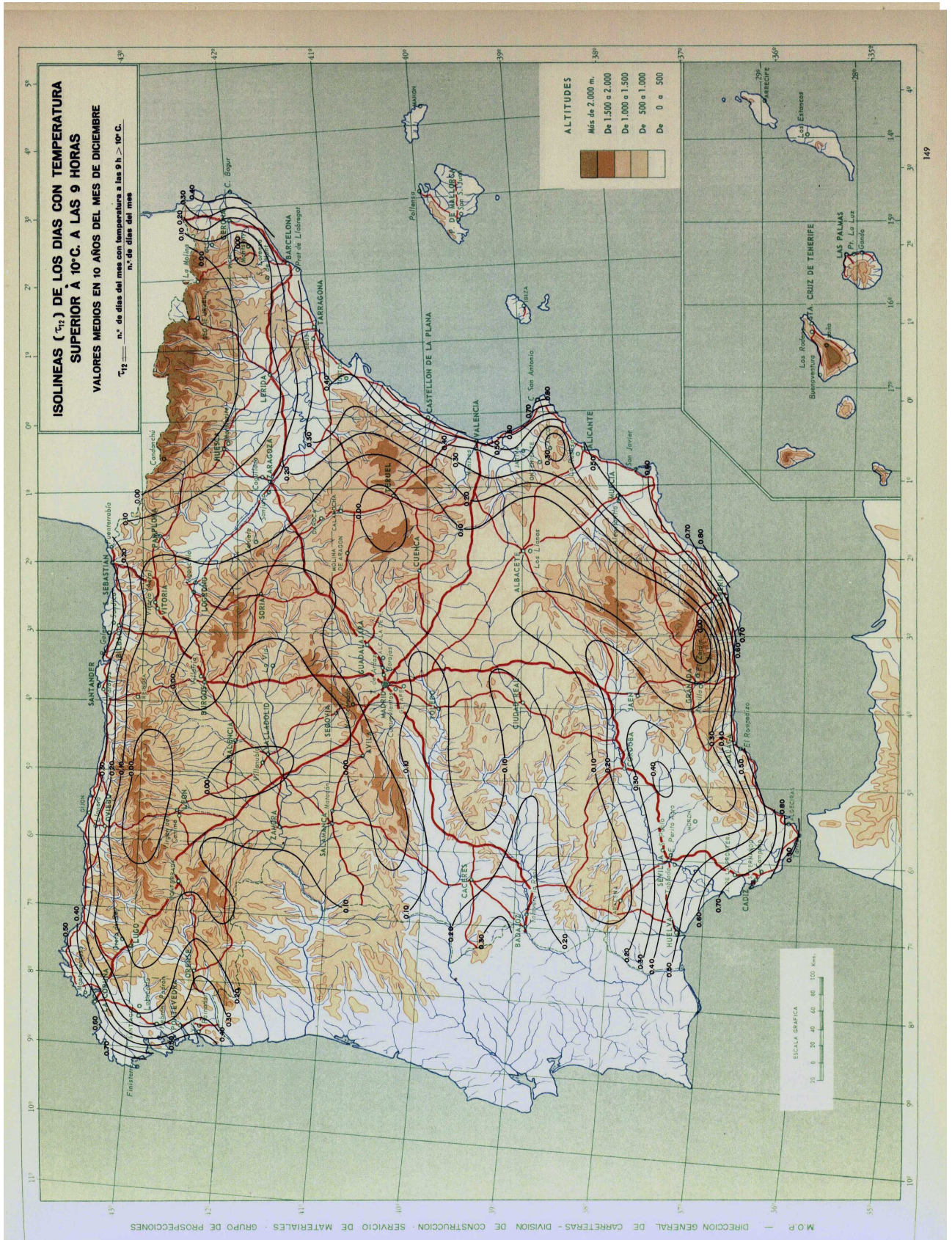


Figura 3: Mapa de isolneas (Datos Climáticos para Carreteras[1])

- Riegos y tratamientos superficiales o por penetración

$$K_{m,riegos} = \tau_m \cdot \lambda'_m \tag{9}$$

- Mezclas bituminosas

$$K_{m,mezclas} = \tau'_m \cdot \lambda'_m \tag{10}$$

4. Coeficientes meteorológicos

4.1. Festivos

Los coeficientes $K_{m,j}$ determinan la proporción de días del mes m en los que no habrán inclemencias meteorológicas para la actividad j . Pero puede suceder que la inclemencia meteorológica se produzca en un día festivo, por lo que hay que tener en cuenta la proporción de festivos del mes. Para ello se define otro coeficiente, denominado *coeficiente de festivos*, como el número de días laborables del mes m dividido por el número de días del mes:

$$F_m = \frac{\text{Nº de días laborables del mes } m}{\text{número de días del mes } m} \tag{11}$$

Para poder calcular los coeficientes se debe conocer el calendario laboral que se va a aplicar. Si se está haciendo una programación en blanco (sin aplicarla a un año concreto), existe el consenso en usar los días laborables de la tabla 1, que es un estándar para proyectos redactados en España.

	D_t	D_l	F_m
ENERO	31	25	0.645
FEBRERO	28	25	0.679
MARZO	31	25	0.677
ABRIL	30	25	0.633
MAYO	31	25	0.710
JUNIO	30	25	0.737
JULIO	31	25	0.677
AGOSTO	31	25	0.677
SEPTIEMBRE	30	25	0.733
OCTUBRE	31	25	0.645
NOVIEMBRE	30	25	0.700
DICIEMBRE	31	25	0.484

Tabla 1: Coeficientes de festivos para un año tipo.

Se considera como promedio del coeficiente F para el total del año el valor $F=0.7$.

4.2. Coeficiente agregado

El coeficiente agregado de reducción de días de trabajo considerando solamente los laborables para cada actividad vendrá dado por:

$$C_{m,j} = 1 - [1 - K_{m,j}] F_m \quad (12)$$

Esa expresión procede de considerar que para la actividad j , el valor $1 - K_{m,j}$ es la proporción de días del mes en los que no se trabaja por tener alguna inclemencia meteorológica. Al multiplicarlo por el coeficiente F_m de ese mes, se tiene la proporción de días del mes que son laborables, pero tienen inclemencia meteorológica. La inversa de ese valor es, por tanto, la proporción de días laborables del mes que NO tienen inclemencia meteorológica. Por tanto, para obtener los días de trabajo del mes m hay que multiplicar ese valor $C_{m,j}$ por el número de días laborables del mes D_l .

Se adjunta a continuación un ejemplo de aplicación de esta metodología.

Ejercicio resuelto

El ejercicio consiste en obtener las fechas de inicio y final de las actividades involucradas en la construcción de una carretera. Para ello se conocen los datos siguientes:

Mediciones

UNIDAD DE OBRA	MEDICIÓN
Explanaciones	45.600 m ³
Procesamiento de áridos	17.100 m ³
Tratamientos superficiales	1.032.000 m ²
Pavimentos de aglomerado asfáltico	22.050 t
Pavimentos de hormigón	210.000 m ³

Rendimientos : Se pueden aplicar los rendimientos que siguen:

UNIDAD DE OBRA	RENDIMIENTO
Explanaciones	760 m ³ /d
Áridos	225 m ³ /d
Tratamientos superficiales	12.900 m ² /d
Pavimentos de aglomerado asfáltico	450 t/d
Pavimentos de hormigón	3.000 m ³ /d

Calendario laboral : Se emplea el calendario laboral de cinco días, trabajando de lunes a viernes:

SEPTIEMBRE						
L	M	X	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

OCTUBRE						
L	M	X	J	V	S	D
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

NOVIEMBRE						
L	M	X	J	V	S	D
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

DICIEMBRE						
L	M	X	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

ENERO						
L	M	X	J	V	S	D
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

FEBRERO						
L	M	X	J	V	S	D
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	

MARZO						
L	M	X	J	V	S	D
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

ABRIL						
L	M	X	J	V	S	D
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

MAYO						
L	M	X	J	V	S	D
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

JUNIO						
L	M	X	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

JULIO						
L	M	X	J	V	S	D
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

AGOSTO						
L	M	X	J	V	S	D
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

Datos climáticos : Se conocen los datos siguientes, expresados como el número de días de cada mes que verifica la condición climática:

	P < 1 mm	P < 10 mm	T > 0 °C	T > 10 °C
ENERO	22	26	17	14
FEBRERO	21	25	18	15
MARZO	27	29	23	20
ABRIL	26	29	27	23
MAYO	28	30	31	31
JUNIO	29	30	30	30
JULIO	27	29	31	31
AGOSTO	25	29	31	31
SEPTIEMBRE	30	28	29	29
OCTUBRE	26	28	30	30
NOVIEMBRE	26	27	25	24
DICIEMBRE	22	26	18	13

Donde la columna P < 1 mm indica los días del mes con precipitación total menor a 1 mm, P < 10 mm indica los días del mes con precipitación total menor a 10 mm, T > 0 °C indica los días del mes con temperatura a las 9:00 de la mañana mayor a 0 °C y T > 10 °C indica los días del mes con temperatura a las 9:00 de la mañana mayor a 10 °C.

Precedencias : Deben cumplirse las siguientes condiciones en la programación:

- Las tareas de explanación comienzan el 17 de septiembre.
- Los áridos se comienzan a procesar 20 días después de comenzar las explanaciones.
- Los riegos comenzarán cuando se lleven fabricadas 2.700 m³ de gravillas (áridos).
- Las mezclas bituminosas deben terminar un día después de completar todos los dobles tratamientos y riegos.
- Los pavimentos de hormigón hidráulico se ejecutan cuando se completen los pavimentos de aglomerado.

Solución

Duraciones

En primer lugar, hay que obtener la duración de cada actividad dividiendo las mediciones por sus rendimientos:

$$\begin{aligned}
 D_{\text{explicaciones}} &= \frac{45600}{760} = 60 \text{ d} \\
 D_{\text{aridos}} &= \frac{17100}{225} = 76 \text{ d} \\
 D_{\text{riegos}} &= \frac{1032000}{12900} = 80 \text{ d} \\
 D_{\text{aglomerados}} &= \frac{22050}{450} = 49 \text{ d} \\
 D_{\text{hormigones}} &= \frac{210000}{3000} = 70 \text{ d}
 \end{aligned} \tag{13}$$

Coeficientes meteorológicos

El siguiente paso es obtener los coeficientes de días meteorológicos, a partir de los datos meteorológicos. Las operaciones son las siguientes:

- Coeficientes η , de días con temperatura a las 9:00 de la mañana $T > 0^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{ene}} &= \frac{17}{31} = 0.548; \quad \eta_{\text{feb}} = \frac{18}{28} = 0.643; \quad \eta_{\text{mar}} = \frac{23}{31} = 0.742; \quad \eta_{\text{abr}} = \frac{27}{30} = 0.900 \\
 \eta_{\text{may}} &= \frac{31}{31} = 1.000; \quad \eta_{\text{jun}} = \frac{30}{30} = 1.000; \quad \eta_{\text{jul}} = \frac{31}{31} = 1.000; \quad \eta_{\text{ago}} = \frac{31}{31} = 1.000 \\
 \eta_{\text{sep}} &= \frac{29}{30} = 0.967; \quad \eta_{\text{oct}} = \frac{30}{31} = 0.968; \quad \eta_{\text{nov}} = \frac{25}{30} = 0.833; \quad \eta_{\text{dic}} = \frac{18}{31} = 0.581
 \end{aligned} \tag{14}$$

- Coeficientes τ , de días con temperatura a las 9:00 de la mañana $T > 10^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned}
 \tau_{\text{ene}} &= \frac{14}{31} = 0.452; \quad \tau_{\text{feb}} = \frac{15}{28} = 0.536; \quad \tau_{\text{mar}} = \frac{20}{31} = 0.645; \quad \tau_{\text{abr}} = \frac{23}{30} = 0.767 \\
 \tau_{\text{may}} &= \frac{31}{31} = 1.000; \quad \tau_{\text{jun}} = \frac{30}{30} = 1.000; \quad \tau_{\text{jul}} = \frac{31}{31} = 1.000; \quad \tau_{\text{ago}} = \frac{31}{31} = 1.000 \\
 \tau_{\text{sep}} &= \frac{29}{30} = 0.967; \quad \tau_{\text{oct}} = \frac{30}{31} = 0.968; \quad \tau_{\text{nov}} = \frac{24}{30} = 0.800; \quad \tau_{\text{dic}} = \frac{13}{31} = 0.419
 \end{aligned} \tag{15}$$

- Coeficientes τ' , de días con temperatura a las 9:00 de la mañana $T > 5^\circ\text{C}$. En este caso se promedia entre los valores de η y τ .

$$\begin{aligned}
 \tau'_{\text{ene}} &= \frac{0.548 + 0.452}{2} = 0.500; \quad \tau'_{\text{feb}} = \frac{0.643 + 0.536}{2} = 0.589; \quad \tau'_{\text{mar}} = \frac{0.742 + 0.645}{2} = 0.694 \\
 \tau'_{\text{abr}} &= \frac{0.900 + 0.767}{2} = 0.833; \quad \tau'_{\text{may}} = \frac{1.000 + 1.000}{2} = 1.000; \quad \tau'_{\text{jun}} = \frac{1.000 + 1.000}{2} = 1.000 \\
 \tau'_{\text{jul}} &= \frac{1.000 + 1.000}{2} = 1.000; \quad \tau'_{\text{ago}} = \frac{1.000 + 1.000}{2} = 1.000; \quad \tau'_{\text{sep}} = \frac{0.967 + 0.967}{2} = 0.967 \\
 \tau'_{\text{oct}} &= \frac{0.968 + 0.968}{2} = 0.968; \quad \tau'_{\text{nov}} = \frac{0.833 + 0.800}{2} = 0.817; \quad \tau'_{\text{dic}} = \frac{0.581 + 0.419}{2} = 0.500
 \end{aligned} \tag{16}$$

- Coeficientes λ , de días con precipitación acumulada $P < 10$ mm:

$$\begin{aligned} \lambda_{ene} &= \frac{26}{31} = 0.839; \lambda_{feb} = \frac{25}{28} = 0.893; \lambda_{mar} = \frac{29}{31} = 0.935; \lambda_{abr} = \frac{29}{30} = 0.967 \\ \lambda_{may} &= \frac{30}{31} = 0.968; \lambda_{jun} = \frac{30}{30} = 1.000; \lambda_{jul} = \frac{29}{31} = 0.935; \lambda_{ago} = \frac{29}{31} = 0.935 \\ \lambda_{sep} &= \frac{30}{30} = 0.933; \lambda_{oct} = \frac{28}{31} = 0.903; \lambda_{nov} = \frac{27}{30} = 0.900; \lambda_{dic} = \frac{26}{31} = 0.839 \end{aligned} \quad (17)$$

- Coeficientes λ' , de días con precipitación acumulada $P < 1$ mm:

$$\begin{aligned} \lambda'_{ene} &= \frac{22}{31} = 0.710; \lambda'_{feb} = \frac{21}{28} = 0.750; \lambda'_{mar} = \frac{27}{31} = 0.871; \lambda'_{abr} = \frac{26}{30} = 0.867 \\ \lambda'_{may} &= \frac{28}{31} = 0.903; \lambda'_{jun} = \frac{29}{30} = 0.967; \lambda'_{jul} = \frac{27}{31} = 0.871; \lambda'_{ago} = \frac{25}{31} = 0.806 \\ \lambda'_{sep} &= \frac{28}{30} = 1.000; \lambda'_{oct} = \frac{26}{31} = 0.839; \lambda'_{nov} = \frac{26}{30} = 0.867; \lambda'_{dic} = \frac{22}{31} = 0.710 \end{aligned} \quad (18)$$

Los valores finales se resumen en la tabla que sigue:

	η	τ	τ'	λ	λ'
ENERO	0.548	0.452	0.500	0.839	0.710
FEBRERO	0.643	0.536	0.589	0.893	0.750
MARZO	0.742	0.645	0.694	0.935	0.871
ABRIL	0.900	0.767	0.833	0.967	0.867
MAYO	1.000	1.000	1.000	0.968	0.903
JUNIO	1.000	1.000	1.000	1.000	0.967
JULIO	1.000	1.000	1.000	0.935	0.871
AGOSTO	1.000	1.000	1.000	0.935	0.806
SEPTIEMBRE	0.967	0.967	0.967	0.933	1.000
OCTUBRE	0.968	0.968	0.968	0.903	0.839
NOVIEMBRE	0.833	0.800	0.817	0.900	0.867
DICIEMBRE	0.581	0.419	0.500	0.839	0.710

El siguiente paso es obtener, a partir de los coeficientes anteriores, los coeficiente por actividades:

	EXPLANAC. $K_m = \frac{\lambda + \lambda'}{2} \eta$	ÁRIDOS $K_m = \lambda$	RIEGOS $K_m = \tau \lambda'$	AGLOM. $K_m = \tau' \lambda'$	HORMIGON $K_m = \eta \lambda$
ENERO	0.774	0.839	0.320	0.355	0.460
FEBRERO	0.821	0.893	0.402	0.442	0.574
MARZO	0.903	0.935	0.562	0.604	0.694
ABRIL	0.917	0.967	0.664	0.723	0.870
MAYO	0.935	0.968	0.903	0.903	0.968
JUNIO	0.983	1.000	0.967	0.967	1.000
JULIO	0.903	0.935	0.871	0.871	0.935
AGOSTO	0.871	0.935	0.806	0.806	0.935
SEPTIEMBRE	0.967	0.933	0.967	0.967	0.902
OCTUBRE	0.871	0.903	0.812	0.812	0.874
NOVIEMBRE	0.883	0.900	0.693	0.708	0.750
DICIEMBRE	0.774	0.839	0.298	0.355	0.487

Finalmente, se obtienen los coeficientes de festivos, a partir de los días laborables y festivos del calendario del Anexo:

	Días naturales D _n	Días laborables D _l	Coeficiente F _m = D _l /D _n
SEPTIEMBRE	30	22	0.733
OCTUBRE	31	22	0.710
NOVIEMBRE	30	20	0.667
DICIEMBRE	31	21	0.677
ENERO	31	19	0.613
FEBRERO	28	20	0.714
MARZO	31	21	0.677
ABRIL	30	19	0.633
MAYO	31	20	0.645
JUNIO	30	22	0.733
JULIO	31	23	0.742
AGOSTO	31	21	0.677

Finalmente, para agregar los coeficientes meteorológicos con los de festivos, se combinan ambos con la expresión:

$$C_{m,j} = 1 - [1 - K_{m,j}] F_m \quad (19)$$

Operando se tiene el resultado de la tabla que sigue:

	EXPLANAC.	C _m			
		ÁRIDOS	RIEGOS	AGLOM.	HORMIGON
SEPTIEMBRE	0.976	0.951	0.976	0.976	0.928
OCTUBRE	0.908	0.931	0.866	0.866	0.911
NOVIEMBRE	0.922	0.933	0.796	0.805	0.833
DICIEMBRE	0.847	0.891	0.524	0.563	0.652
ENERO	0.862	0.901	0.584	0.605	0.669
FEBRERO	0.872	0.923	0.573	0.601	0.696
MARZO	0.934	0.956	0.703	0.732	0.793
ABRIL	0.947	0.979	0.788	0.824	0.918
MAYO	0.958	0.979	0.938	0.938	0.979
JUNIO	0.988	1.000	0.976	0.976	1.000
JULIO	0.928	0.952	0.904	0.904	0.952
AGOSTO	0.913	0.956	0.869	0.869	0.956

Cálculo de días útiles

Si estos valores se multiplican por el número de días laborables de cada mes, se tienen los días de trabajo por actividad y mes:

	EXPLANAC.	ÁRIDOS	RIEGOS	AGLOM.	HORMIGON
SEPTIEMBRE	21	21	21	21	20
OCTUBRE	20	20	19	19	20
NOVIEMBRE	18	19	16	16	17
DICIEMBRE	18	19	11	12	14
ENERO	16	17	11	11	13
FEBRERO	17	18	11	12	14
MARZO	20	20	15	15	17
ABRIL	18	19	15	16	17
MAYO	19	20	19	19	20
JUNIO	22	22	21	21	22
JULIO	21	22	21	21	22
AGOSTO	19	20	18	18	20

Programación

Con estos resultados, ya se puede calendarizar cada actividad.

Explanaciones Las explanaciones comienzan el día 17 de septiembre. Si se observa el calendario laboral de ese mes, se tendrán 10 días laborables (contando el mismo día 17), para trabajar en las explanaciones. El mes de septiembre tiene 22 días laborables, pero 21 días útiles (ver tabla anterior), porque se espera un día de inclemencia meteorológica, que no sabemos si se producirá antes o después del día 17. Ante la duda, no se reduce ese día, y se supone que no nos afectará. El error que se puede cometer es pequeño.

Por tanto, si la actividad tiene una duración de 60 días laborables (ver ecuación 13) ocupará 10 días de septiembre, los 20 de octubre, los 18 de noviembre, y los 13 días más en diciembre. El 13º laborable de diciembre es el día 18. Surge de nuevo la incertidumbre asociada a los días laborables del mes que sufrirán inclemencia meteorológica, y que ahora son 3. No hay un criterio claro de cómo proceder, pero ahora es razonable prorratear esos días, y añadir al menos uno. Por tanto, se opta por estimar que la finalización de las explanaciones se produzca el día 19 de diciembre, es decir, se supone que al menos un día de parada se producirá durante las primeras semanas del mes.

Áridos Los trabajos con áridos se comienzan 20 días después de comenzar con las explanaciones. Como en septiembre se trabajan 10 días en las explanaciones, la condición anterior se cumplirá cuando se hayan trabajado 10 días de octubre. Teniendo en cuenta la salvedad mencionada anteriormente sobre la incertidumbre en la ocurrencia de las inclemencias, se puede admitir que eso sucederá cuando se cumplan 10 días laborables de ese mes, es decir (ver calendario laboral) el día 14 de octubre, por lo que los áridos comenzarán a producirse el día 15 de octubre.

A partir de ahí, se admite que se trabaja en octubre el resto de días laborables, esto es, 13 días. Para completar la duración de 76 días habrá que ocupar los 19 de noviembre y de diciembre, y los 17 de enero, quedando 8 días de febrero. El octavo día laboral de febrero es el día 11, que cuando terminarán los trabajos con áridos.

Riegos Los riegos bituminosos se retrasan hasta que se han fabricado 2.700 m^3 de gravillas. Con un rendimiento de $225 \text{ m}^3/\text{d}$ eso supone:

$$\frac{2.700}{225} = 12 \text{ días}$$

La producción de áridos comienza el día 15 de octubre, y se trabajan los 13 días laborales que quedan de ese mes. Por tanto, los 12 días de fabricación de áridos se completarán el penúltimo días de ese mes, es decir, el día 30. Con ello los riegos comenzarán el día 31 de octubre. La duración de los riegos es de 80 días, por lo que se trabajará ese día, los 16 días de noviembre, los 11 de diciembre, enero y febrero, y los 15 de marzo y abril. Con ello se habrán trabajado 80 días exactos, por lo que los riegos terminan el último día laborable de abril, el día 30.

Mezclas bituminosas Las mezclas bituminosas deben programarse para terminar el día después de los riegos, por tanto, terminan el día 1 de mayo. Ahora hay que proceder como en el caso anterior, pero retrocediendo en el calendario, hasta completar los 49 días de trabajos. Por tanto, se empleará además de un día de mayo los 16 días de abril, los 15 de marzo, los 12 de febrero y quedan 5 días más de enero. Por tanto, los aglomerados deben comenzar el día 26 de enero.

Hormigones Finalmente, los hormigones comienzan cuando se terminan los aglomerados. Por tanto, comienzan el día 2 de mayo, y como su duración es de 70 días, necesitan los 19 días restantes de mayo, los 22 de junio y julio, y otros 7 días de agosto. Terminarán, por tanto, el 11 de agosto.

Se tiene por tanto el siguiente programa de trabajos:

	Inicio	Final
EXPLANACIONES	17-Sept	19-Dic
ÁRIDOS	16-Oct	11-Feb
RIEGOS BITUMINOSOS	31-Oct	30-Abr
AGLOMERADO ASFÁLTICO	26-Ene	01-May
HORMIGONES	02-May	11-Ago

Referencias

- [1] Dirección General de Carreteras y C V. *Datos climáticos para carreteras*. Servicio de Publicaciones. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, 1964.
- [2] Agencia Estatal de Meteorología (España) e Instituto de Meteorología (Portugal). *Atlas climático ibérico: temperatura del aire y precipitación (1971-2000)*. Agencia Estatal de Meteorología ; Instituto de Meteorología (Portugal), 2011. ISBN: 978-84-7837-079-5. DOI: [10.31978/784-11-002-5](https://doi.org/10.31978/784-11-002-5). URL: http://www.aemet.es/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/detalles/Atlas-climatologico (visitado 05-01-2022).

