

MOP SECRETARIA GENERAL TECNICA
GABINETE DE ORGANIZACION Y NORMAS TECNICAS

COMISION PERMANENTE DEL HORMIGON

**Resistencia característica
y control de calidad**

1972

Miembros del Grupo de Trabajo.

José Manuel Antón Corrales (IET-MOP)

Alberto Blasco Vilatela (MOP)

José Calavera Ruiz (experto)

Juan del Corro (M.V.)

Alvaro García Meseguer (IET)

Valentín Martín Jadraque (MOP)

Carlos de la Peña (L.C.E.M.)

Fernando Rodríguez Maribona (MOP)

Alfredo Verde (IET)

Julio Villacañas (M.E.)

INDICE

PRESENTACION	9
1 - EL CONTROL Y LA SEGURIDAD	11
1.1. Introducción	11
1.2. Niveles de control de calidad	11
2 - DEFINICIONES	14
2.1. Resistencia característica	14
2.1.1. Resistencia nominal característica	14
2.1.2. Resistencia característica de obra	14
2.1.3. Resistencia característica estimada de obra	15
2.2. Lote	15
2.3. Unidad de producto	15
2.4. Extensión y tamaño del lote	15
2.5. Muestra	16
3 - CONTROL DE CALIDAD DEL ACERO Y DEL HORMIGON	17
3.1. Control de calidad del acero	17
3.2. Control de calidad del hormigón	17
3.2.1. Control de materiales componentes	17
3.2.2. Control de consistencia	18
3.2.3. Control de tamaño del árido	19
4 - CONTROL DE RESISTENCIA DEL HORMIGON	20
4.1. Niveles de control de resistencia del hormigón	20
4.1.1. Nivel inferior	20
4.1.2. Nivel intermedio	20
4.1.3. Nivel superior	20
4.2. Estimación de la resistencia del hormigón: Estimadores	20
4.2.1. Estimación indirecta	21
4.2.2. Estimación no sistemática	21
4.2.2.1. Estimador A	21
4.2.2.2. Propiedades del estimador A	22
4.2.2.3. Parámetros del estimador A	22
4.2.2.4. Curvas de eficacia del estimador A	25

4.2.3. Estimación sistemática	32
4.2.3.1. Estimador B	32
4.2.3.2. Estimador C	32
4.2.3.3. Propiedades de los estimadores B y C	33
4.2.3.4. Parámetros de los estimadores B y C	33
4.2.3.5. Curvas de eficacia de los estimadores B y C	34
4.2.3.6. Campo de aplicación de los estimadores B y C	34
4.2.3.7. Otros estimadores	41
4.3. Métodos de control sistemático de la resistencia del hormigón	42
4.3.1. Sistemática del método recomendado	42
4.3.2. Significado de las decisiones	43
4.3.3. Precisiones respecto a probetas enmoldadas y probetas testigo	45
4.3.4. Caso de extracción de probetas testigo	45
4.3.5. Control de calidad de un elemento de la otra individualizado	45
5 - CONTROL DE LA EJECUCION	46
5.1. Generalidades	46
5.2. Niveles de control	46
6 - EXPRESION DE LOS RESULTADOS DEL CONTROL	48



Ministerio de Obras Públicas

Comisión Permanente del Hormigon

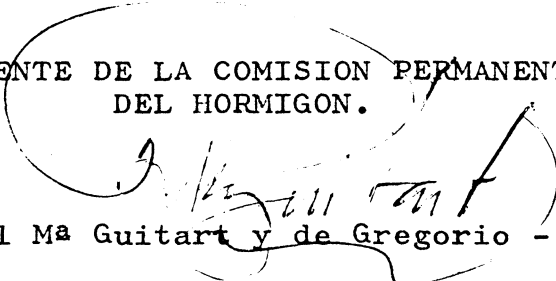
PRESENTACION

Este trabajo es un estudio básico preparado por un Grupo de Expertos, dentro del seno de la Comisión -- Permanente del Hormigón. Su objeto es servir de base para futuras mejoras en la redacción definitiva de la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado.

La Comisión Permanente del Hormigón agradece rá el envío de cuantas observaciones puedan suscitar la lectura y eventual aplicación del texto adjunto, con el fin de tenerlas en cuenta en su momento oportuno para una mayor -- utilidad de los técnicos interesados.

El carácter del presente trabajo, es por -- consiguiente, meramente informativo y no preceptivo.

EL PRESIDENTE DE LA COMISION PERMANENTE
DEL HORMIGON.


- Rafael M^a Guitart y de Gregorio -

1 - EL CONTROL Y LA SEGURIDAD

1.1. - Introducción.

Si se compara una estructura de hormigón ya construída con el proyecto correspondiente, y se comprueban cuidadosamente todos los aspectos de la misma, aparecen multitud de factores que presentan desviaciones más o menos significativas. El grado de concordancia de la obra construída con su proyecto es un índice de la calidad de aquella y en la medida en que ese grado sea elevado, se cumplirán las hipótesis establecidas por el proyectista. Por el contrario, a menor grado de concordancia corresponde una mayor incertidumbre en cuanto al comportamiento real de la estructura y, en particular, en cuanto se refiere a su resistencia y durabilidad.

Se pone así de manifiesto la relación existente entre la seguridad de una estructura y el control ejercido durante la construcción de la misma. Un control cuidadoso y sistemático en la ejecución permitirá el empleo de coeficientes de seguridad γ más afinados en el proyecto; y viceversa, un control defectuoso o la ausencia de control requerirá el empleo de valores de γ más elevados, si se quiere mantener constante la seguridad real de la estructura.

Como la elección de los valores de γ (γ_a , γ_b , γ_s) la efectúa el proyectista antes de que la obra se realice, es obligado que el tipo de control que se efectúe después en obra sea acorde con los valores elegidos. De ahí la necesidad de establecer unos criterios de relación entre ambos factores.

El objeto de este Anejo es fijar tales criterios y definir distintos niveles de control, en su doble aspecto de control de calidad de materiales y control de calidad de la ejecución.

1.2. - Niveles de control de calidad.

En cuanto a los materiales, se contemplan dos posibilidades para el acero y tres para el hormigón. En cuanto a la ejecución, se contemplan tres posibilidades:

Acero	No se controla su resistencia.
	Se controla según las Normas UNE 36.088 y 36.097.
Hormigón	No se controla directamente su resistencia.
	Se efectúa un control no sistemático de su resistencia.
	Se efectúa un control sistemático de su resistencia.
Ejecución	Se efectúa un control reducido.
	Se efectúa un control normal.
	Se efectúa un control intenso.

En correspondencia con los niveles mencionados, se establecen *factores de corrección* para los valores γ_a , γ_b , γ_s definidos en el articulado de la Instrucción. Tales factores aparecen en la Tabla 1.

TABLA 1.- Factores de corrección de los coeficientes de seguridad en función del nivel de control en obra.

CONTROL DE CALIDAD de la	NIVEL DE CONTROL	FACTOR APLICABLE A		
		γ_a	γ_b	γ_s
Resistencia del acero	No se controla	1,1	1	1
	Control según UNE 36.088 y 36.097	1	1	1
Resistencia del hormigón	No se controla directamente ($\sigma'_{bk} \leq 150 \text{ kp/cm}^2$)	1	1,25	1
	Control no sistemático ($\sigma'_{bk} \leq 250 \text{ kp/cm}^2$)	1	1,1	1
	Control sistemático (*)	1	1	1
Ejecución	Reducido	1	1	1,2
	Normal	1	1	1,1
	Intenso	1	1	1

(*) Sin limitación para σ'_{bk} . Cuando sea $\sigma'_{bk} \geq 300 \text{ kp/cm}^2$, el Constructor deberá presentar al Director de Obra un plan de autocontrol ajustado a las indicaciones del presente Anejo.

(*) Este cuadro está íntimamente relacionado con los artículos 25, 26 y 28 de la EH-68. En particular el artículo 28 deberá ser actualizado para tener en cuenta, de forma global y sin redundancias, los distintos factores que influyen en γ_s .

Los factores de corrección de la Tabla 1 son independientes entre sí y, por tanto, deben aplicarse simultáneamente los tres que correspondan a la situación prevista para el control del acero, del hormigón y de la ejecución. Naturalmente, los niveles de control previstos por el proyectista deben figurar en el Pliego de Condiciones, ya que se trata de un dato fundamental para la definición de la obra.

Por la misma razón apuntada, los niveles de control deben figurar también en los planos, junto con las características resistentes de los materiales. En efecto, si el nivel de control aplicado en obra es menos riguroso que el previsto en proyecto, habría que modificar, aumentándolas, las dimensiones de los elementos, las cuantías, las resistencias, etc., para mantener el mismo grado de seguridad. Lo cual significa que cada plano sólo es completo si incluye también el nivel de control.

A título de ejemplo, se incluyen a continuación dos cuadros correspondientes a dos obras en condiciones extremas. Este tipo de cuadro debe figurar en la esquina inferior derecha de cada plano.

	Características resistentes			Control necesario
Hormigón	$\sigma'_{bk} = 150 \text{ kp/cm}^2$			Indirecto
Acero	ordinario	ϕ	$\sigma_e = 2.400 \text{ kp/cm}^2$	No se controla
	corrugado	ϕ	$\sigma_e = 4.200 \text{ kp/cm}^2$	
Ejecución	—			Reducido

Ejemplo núm. 1

A este ejemplo corresponden, en proyecto, los coeficientes de seguridad siguientes:

$$1,1 \times \gamma_a; 1,25 \times \gamma_b; 1,20 \times \gamma_s.$$

	Características resistentes			Control necesario
Hormigón	$\sigma'_{bk} = 300 \text{ kp/cm}^2$			Sistemático
Acero	ordinario	ϕ	$\sigma_e = 2.400 \text{ kp/cm}^2$	Según Normas UNE 36.088 y 36.097
	corrugado	ϕ	$\sigma_e = 5.000 \text{ kp/cm}^2$	
Ejecución	—			Intenso

Ejemplo núm. 2

A este ejemplo corresponden, en proyecto, los coeficientes de seguridad siguientes:

$$\gamma_a; \gamma_b; \gamma_s.$$

Los valores de los coeficientes de la Tabla 1 son tales que, en los casos normales, la seguridad real que se consigue es aproximadamente la misma cualquiera que sea el nivel de control escogido. Como es obvio, a más bajo nivel corresponde un mayor consumo de materiales y, por tanto, un mayor coste de la estructura que, según los casos, podrá o no compensarse con el ahorro de gastos de control. En ausencia de disposiciones oficiales al respecto, corresponde al proyectista ponderar, a la vista de las características de la obra particular de que se trate (importancia de la misma, ubicación, etc.), cuál es el nivel de control más adecuado.

2 - DEFINICIONES

2.1. - Resistencia característica.

A los efectos del presente estudio y hablando en general de una variable aleatoria, se define como valor característico de la misma aquel que presenta un grado de confianza del 95 por 100; es decir, que existe una probabilidad de 0,95 de que se presenten valores individuales más altos que él.

En sentido amplio, la definición dada es válida cualquiera que sea el tipo de ensayo (compresión o tracción), la clase de probeta, el modo de conservación de la misma y la edad del hormigón.

En sentido estricto, y así debe entenderse a lo largo, de este estudio, se designa por resistencia característica la referida a ensayos de compresión realizados sobre probetas cilíndricas de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura, de veintiocho días de edad; fabricadas y conservadas con arreglo al método de ensayo UNE 7240, y rotas por compresión según el método de ensayo UNE 7242.

Es fundamental distinguir tres conceptos diferentes de resistencia característica, a saber:

- Resistencia nominal característica, σ'_{bk} (ó Resistencia de proyecto).
- Resistencia característica real de obra, R'_{bk} real.
- Resistencia característica estimada de obra, R'_{bk}

2.1.1. - Resistencia nominal característica, σ'_{bk} .

Es el valor que adopta el proyectista como base de sus cálculos, asociado a un nivel de confianza del 95 por 100. Dicho valor se especifica en el proyecto y a él se refieren los coeficientes de seguridad prescritos (*).

En lo sucesivo y para simplificar, se denominará a este valor "Resistencia de proyecto", designándolo por σ'_{bk} .

2.1.2. - Resistencia característica real de obra, $R'_{bk\text{ real}}$

Para un hormigón dado que constituye una zona homogénea de obra, es el valor que tiene una probabilidad de 0,95 de ser igualado o superado por el valor obtenido al ensayar a compresión una probeta cilíndrica 15 x 30 tomada al azar dentro de la zona.

La resistencia característica real de obra es un valor imposible de conocer en la práctica, puesto que ello requeriría conocer la resistencia de todos y cada uno de los puntos de la zona considerada.

(*) Si el nivel de confianza asociado fuese diferente (lo que no es el caso en la Instrucción EH68), habría que modificar los coeficientes de seguridad. Así por ejemplo, si el valor empleado en los cálculos fuese el de la resistencia media (nivel de confianza igual al 50 por 100, supuesta una distribución normal) los coeficientes de seguridad habrían de ser aumentados.

2.1.3. - Resistencia característica estimada de obra, R'_{bk}

Es un valor que estima la resistencia característica real de obra anteriormente definida.

En lo sucesivo y para simplificar, se denominará a este valor "Resistencia estimada", designándolo por R'_{bk} .

El valor R'_{bk} es el que se compara con la σ'_{bk} de proyecto, con el fin de aceptar o rechazar la obra ejecutada.

En el Apartado 4 se trata de la forma de determinar R'_{bk} y de los criterios de aceptación y rechazo.

2.2. - Lote.

Es la cantidad de hormigón que ha sido confeccionado y puesto en obra en condiciones sensiblemente iguales y que se somete a juicio de una sola vez.

Como es obvio, a mayor extensión del lote corresponde un menor gasto de ensayos, a la vez que un mayor riesgo. Este riesgo se presenta siempre, en mayor o menor cuantía, tanto para el suministrador del hormigón (rechazo de un hormigón correcto, con quebranto económico) como para el receptor del mismo (aceptación de un hormigón incorrecto, con quebranto de la seguridad). Más adelante en este estudio se dan indicaciones que permiten cuantificar dicho riesgo.

Si por azar, descuido o desconocimiento se mezclan en un mismo lote hormigones de diferentes características, el riesgo de rechazo aumenta apreciablemente, si bien los sistemas de control que más adelante se establecen están preparados para que ese aumento se mantenga dentro de límites razonables.

2.3. - Unidad de producto.

Es la menor cantidad de hormigón que se confecciona en las mismas condiciones esenciales. Dicho de otro modo, cada amasada de hormigón constituye una unidad de producto.

En general, se admite que la resistencia a compresión del hormigón de una amasada viene medida por la de una probeta tomada de la misma. Ello significa que se da por supuesta la bondad de la maquinaria y proceso de amasado, es decir, se presupone homogeneidad dentro de la amasada. La comprobación de dicha homogeneidad no es objeto de este estudio.

Cuando se trate de hormigón preamasado, se admite que la resistencia del hormigón de cada amasada viene medida por la media aritmética de dos o tres probetas tomadas de la misma, habida cuenta de las condiciones de dispersión que los resultados individuales deben cumplir (véase Norma de Hormigón Preamasado). Si estas condiciones no se cumpliesen, habría de revisarse la bondad de la maquinaria y del ensayo, de acuerdo con las indicaciones de la Norma citada.

En cualquier caso, cada unidad de producto muestreada da origen a un valor de la resistencia, que se llamará en lo sucesivo resultado.

2.4. - Extensión y tamaño del lote.

Por extensión del lote se entiende el volumen de hormigón que lo constituye, expresado en metros cúbicos.

Tamaño del lote es el número de unidades de producto que contiene. Se obtiene dividiendo el volumen del lote por el de la amasada.

Corresponde al Pliego Particular de Prescripciones, establecer la extensión de los lotes, a efectos de control. En ausencia de indicaciones, dicha extensión será fijada por el Director de Obra. Cuando éste no indique lo contrario, se entenderán los lotes definidos por el valor más pequeño de los que figuran en la Tabla 2.

2.5. - Muestra.

Es el conjunto de probetas que se toman como representativas del correspondiente lote, fabricadas y conservadas con arreglo a la Norma UNE 7240 y rotas por compresión según la Norma UNE 7242.

Tamaño de la muestra es el número de resultados (ver apartado 2.3) por lote. Como se verá más adelante (ver punto 4.3.1.) en los métodos de control recomendados en este estudio dicho tamaño es de 6,12 ó 18 resultados, según los casos.

Cada resultado debe, en principio, proceder de una unidad de producto (amasada) distinta, seleccionada al azar. No obstante, cuando las amasadas son de gran volumen (caso de emplear camiones hormigonera, por ejemplo) y salvo orden en contrario del Director de Obra, se admite tomar más de una probeta de la misma amasada, para componer la muestra total (*). En cualquier caso, se respetará la limitación siguiente:

- Amasadas de hasta 0,75 m³ 1 probeta como máximo.
- Amasadas entre 0,75 m³ y 2 m³ 2 probetas como máximo.
- Amasadas mayores de 2 m³ 3 probetas como máximo.

Conviene recordar, por último, que según el momento en que se tomen las probetas (a salida de hormigonera o junto al tajo de colocación) se cubre o no el control de los procesos intermedios que el hormigón experimenta.

TABLA 2

Valores máximos de la extensión del lote.

	TIPO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES		
	Lineales (1)	Superficiales (2)	Grandes macizos (3)
Por volumen	100 m ³	200 m ³	500 m ³
Por superficie en planta	elementos comprendidos en 400 m ²	400 m ²	-
Por tiempo (hormigón colocado en):	1 mes	2 semanas	1 semana
Por palanta, si existen	1	1	-

(1) Edificios, puentes, naves industriales, etc.

(2) Muros, láminas, pavimentos, etc.

(3) Presas, grandes cimientos, etc.

(*) Aunque estadísticamente hablando no es correcto tratar como probetas independientes las que proceden de una misma amasada, y unirlas con igual tratamiento a las que proceden de otra, se admite aquí esta simplificación por razones fundamentalmente económicas.

3 - CONTROL DE CALIDAD DEL ACERO Y DEL HORMIGON

3.1. - Control de calidad del acero.

Se realizará de acuerdo con las Normas UNF 36.088 y UNE 36.097. Se recuerda la conveniencia de someter a control fracciones grandes del total de acero necesario para la obra, ya que para mantener las garantías de seguridad existe un mínimo de probetas por lote, lo que supone una gran intensidad de muestreo cuando los lotes están formados por pequeñas cantidades de barras.

Estando prevista en las citadas Normas UNE 36.088 y 36.097 la posibilidad de contraensayo, se insiste en la necesidad de que se someta el material al control de recepción con antelación suficiente para que ni el tiempo necesario para la realización de los ensayos, ni el correspondiente a la realización de los eventuales contraensayos, supongan interrupciones o retrasos innecesarios en la ejecución de la obra.

Se destaca la conveniencia de realizar la toma de muestras sobre las barras antes de ser trabajadas, con el fin de evitar la pérdida del trabajo de ferralla en caso de rechazo del lote. Por supuesto, cuando se elabora en taller ajeno a la obra, esto exige que puedan ser claramente identificadas las partidas de barras con las que van a elaborarse las armaduras de cada obra.

3.2. - Control de calidad del hormigón.

El control de calidad del hormigón comprende:

- control de materiales componentes
- control de consistencia del hormigón
- control de tamaño del árido, y
- control de resistencia del hormigón.

A los tres primeros se dedican los puntos que siguen. El cuarto es objeto del Apartado 4 de este estudio.

3.2.1. - Control de materiales componentes.

Cuando el agua y los áridos empleados para la fabricación del hormigón sean de procedencias conocidas y sancionadas por la práctica habitual como de características satisfactorias y uniformes, cabe suprimir los ensayos correspondientes, puesto que la influencia de estos materiales en la calidad del hormigón será comprobada por los controles previstos en 3.2.2., 3.2.3., y Apartado 4.

En los casos en que no ocurra así, o en los que se exija al hormigón alguna característica no habitual, se considera necesaria la ejecución, previa al comienzo de la obra, de los ensayos previstos en los artículos 6º y 7º de la Instrucción EH68. Estos ensayos deberán ser repetidos siempre que cambien las fuentes de suministro o sus condiciones.

En cuanto al cemento, se considera necesaria, como mínimo, la realización completa de los ensayos físicos, mecánicos y químicos previstos en el vigente Pliego de Condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos (PCCH-64) sobre una muestra representativa de la partida de cemento empleada para realizar los ensayos previos (art. 23 de la EH68). Los resultados de estos ensayos permitirán comprobar el tipo de cemento y prever márgenes de seguridad en la dosificación si la calidad real del cemento empleado en el hormigón correspondiente a los ensayos previos fuera notablemente superior a la nominal establecida en el Pliego PCCH-64.

Durante la marcha de la obra se repetirán los ensayos del cemento con la amplitud y frecuencia que indique el Director de Obra, pero en todo caso y como mínimo, se realizará un ensayo de cemento por cada diez lotes de control de hormigón y no menos de uno por mes, comprobando al menos finura de molido, principio y fin de fraguado, resistencia a flexotracción y compresión y expansión en autoclave.

Si se emplean aditivos en el hormigón, independientemente de la información general que se tenga sobre el aditivo empleado, deberán realizarse amasadas de prueba con y sin aditivo para fabricar un mínimo de seis probetas de cada tipo, cuyo ensayo a 28 días permita valorar comparativamente los efectos reales del aditivo elegido.

Independientemente de todo lo anterior, deberá realizarse control directo de los materiales componentes tan pronto se presuma, bien por los resultados de control o por cualquier otra causa, que no se consigue en obra la resistencia especificada.

Se guardarán muestras representativas de los materiales componentes hasta la finalización de la obra. A título indicativo se citan las de 50 litros para la grava, 15 litros para la arena, 10 kg. para el cementos y 5 litros para el agua.

3.2.2. - Control de consistencia.

El ensayo de la consistencia del hormigón, realizado de acuerdo con la Norma UNE 7.103, tiene por objeto garantizar que la masa de hormigón no es ni tan fluida que presente peligro de segregación, ni tan seca que sea difícil de colocar o compactar con los medios disponibles en obra. Dentro de este margen, el control debe tender a manejar mezclas tan secas como sea posible, de acuerdo con el tipo de pieza a hormigonar, con los medios de compactación disponibles y con las condiciones ambientes de humedad y temperatura.

En este sentido, el ensayo de consistencia debe emplearse como una comprobación de rutina. El Director de Obra deberá indicar la consistencia adecuada para cada zona de obra en cada época del año, y según el sistema de compactación empleado.

A título orientativo se indican a continuación tipos de compactación, consistencias y asientos en cono de Abrams.

Vibrado en taller	Seca	0 - 2
Vibrado normal	Plástica	3 - 5
Apisonado	Blanda	6 - 9
Picado con barra	Fluída	10 - 15
Vertido	Líquida	≥ 16

La consistencia líquida no debe utilizarse en hormigones armados o pretensados.

La consistencia se medirá siempre en obra y a pié de tajo de colocación. Si se efectúa a salida de hormigonera y el transporte interior es importante, deberán tenerse en cuenta las posibles alteraciones de consistencia durante el mismo.

Al realizar los ensayos previos, el hormigón deberá amasarse con un asiento igual al máximo previsible a lo largo de la obra, salvo que se considere aconsejable estudiar diferentes dosificaciones para las distintas consistencias a emplear en obra.

3.2.3. - Control de tamaño del árido.

Durante el hormigonado debe prestarse atención a que el tamaño del árido no rebase lo prescrito en el artículo 7. 2. de la EH 68, realizándose en caso de duda los ensayos correspondientes de comprobación, de acuerdo con la Norma UNE 7.295 (*). Se establece una tolerancia del 6 por 100 en peso del árido grueso.

*) En preparación. Puede consultarse la ASTM. C 94/67 Apéndice A-1.

4 - CONTROL DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

4.1. - Niveles de control de resistencia del hormigón.

Como se indicó en 1.2., se establecen tres niveles de control posibles, cuya adecuación a cada obra particular depende de las características de la misma.

4.1.1. - Nivel inferior.

En este nivel no es objeto de control directo la resistencia del hormigón. Corresponde a obras de escasa importancia en zonas donde no es fácil recurrir a laboratorios especializados.

4.1.2. - Nivel intermedio.

En este nivel, la resistencia característica del hormigón es objeto de un control no sistemático, entendiéndose por tal aquel que se basa en un número reducido de ensayos de probetas, aperiódicamente realizados, y que no aprovecha por tanto los resultados de controles anteriores como base para futuras variaciones del nivel de inspección. Este nivel corresponde a obras de importancia reducida o media, alejadas de laboratorios especializados; o a las que estando en zonas próximas a laboratorios, son de importancia muy escasa.

4.1.3. - Nivel superior.

En este nivel la resistencia característica del hormigón es objeto de un control sistemático que, al presentar una información estadística suficientemente amplia, permite aprovechar la información obtenida en el propio control para reducir la intensidad del mismo cuando se obtienen resultados uniformes y confiables. Este nivel corresponde a obras de importancia o de gran volumen, en las que el afinamiento de los coeficientes de seguridad compensa con creces el gasto que supone recurrir a laboratorios especializados o montar un sistema propio de control.

4.2. - Estimación de la resistencia del hormigón: Estimadores.

Se define como estimador la función que, particularizada para los resultados numéricos obtenidos de la rotura de probetas de la muestra, proporciona un valor que estima y cuantifica la resistencia característica de obra. Dicho de otro modo, es la función que se emplea para obtener la resistencia estimada, R'_{bk} , que debe compararse con la de proyecto, σ'_{bk} .

Aplicando los conocimientos que proporciona la Estadística, es posible definir diversos estimadores. En el presente estudio se definen tres, llamados, A, B y C cuyas características de aplicación les hace especialmente aptos para el control. Como luego se verá, el campo de aplicación recomendable es diferente para cada uno de ellos.

Una propiedad interesante de los tres estimadores A, B y C es que no hace intervenir, al menos directamente, los valores más altos de los resultados de las probetas, con lo que no resulta penalizado un hormigón por mostrar dispersión excesiva en más. Esta circunstancia los hace más indicados que otros estimadores en los que intervienen todos los valores de las probetas, porque en la práctica de las obras puede darse el caso de que las probetas de una misma muestra pertenezcan a dos poblaciones diferentes (por ejemplo, por cambio en la partida de cemento, siendo el segundo de resistencia superior al primero) y, en tal caso, la aplicación de los estimadores A, B y C es más ventajosa y justa.

4.2.1. - Estimación indirecta.

Cuando se emplee el nivel inferior de control (punto 4.1.1.), el Director de Obra extremará la vigilancia de las dosificaciones, el amasado, la puesta en obra, etcétera, llevando un control sistemático del asiento en cono de Abrams. Se utilizarán dosificaciones tipo, y se deberá ser muy prudente en el valor supuesto en proyecto para la resistencia del hormigón, el cual no podrá superar los 150 kp/cm². Puede contarse con una resistencia próxima a esta cifra límite, si se emplea un mínimo de 350 kg. de cemento de categoría 350, por m³ de hormigón.

4.2.2. - Estimación no sistemática.

Se está en este caso cuando se emplea el nivel intermedio de control (punto 4.1.2.), es decir, cuando se opera con muestras aperiódicas o conjuntos de probetas inferiores a seis. En tal caso se empleará el estimador A que se define a continuación.

4.2.2.1. - Estimador A.

Se define como el valor que resulta de multiplicar el resultado más bajo obtenido en la rotura de la serie de probetas, por un coeficiente K_a que es función del número de probetas y del coeficiente de variación del hormigón. Los valores de K_a se dan en la Tabla 3.

Si no se conoce el coeficiente de variación V , desviación típica dividida por la media, del hormigón, puede suponerse $V = 0,20$ en los casos ordinarios y $V = 0,10$ á $0,15$ en los casos de hormigón fabricado en central y suministrado en forma regular.

TABLA 3
Valores de K_a en el estimador A.

Uniformidad del hormigón		Excelente	Buena	Regular	Mala
Coeficiente de variación del hormigón V		0,10	0,15	0,20	0,25
Número de probetas N	1	0,836	0,753	0,671	0,589
	2	0,884	0,820	0,753	0,682
	3	0,910	0,859	0,803	0,741
	4	0,928	0,886	0,838	0,784
	5	0,942	0,907	0,867	0,820
	6	0,953	0,924	0,890	0,850
	7	0,962	0,938	0,910	0,877
	8	0,970	0,951	0,928	0,900
	10	0,983	0,972	0,958	0,942
	12	0,993	0,989	0,984	0,976
	14	1,002	1,004	1,005	1,008
	16	1,009	1,016	1,024	1,035
18	1,016	1,027	1,041	1,059	

4.2.2.2. - Propiedades del estimador A.

El estimador A se ha obtenido con la propiedad de que el valor de su mediana coincide con el valor de la resistencia característica real.

Este estimador es prácticamente centrado en la resistencia característica de obra, lo cual significa que, aplicado a muchos conjuntos de probetas de un mismo hormigón, proporciona valores de R'_{bk} (resistencia característica estimada de obra) tales que su media aritmética coincide con $R'_{bk\text{ real}}$ (resistencia característica real de obra).

Lo anterior significa que si el hormigón realizado en obra tiene una resistencia característica real estrictamente igual a la de proyecto, existe una probabilidad del 0,5 de que sea aceptado, ya que en el 50 por 100 de los casos la resistencia estimada saldrá mayor que la real.

Antes de enjuiciar esta circunstancia, que puede sorprender a primera vista, debe tenerse en cuenta que el estimador A es muy sensible, lo cual significa que si el hormigón realizado en obra tiene una resistencia característica real algo superior a la de proyecto (por ejemplo, un 10 por 100), existe un alto porcentaje de probabilidad (por ejemplo, 0,96) de que sea aceptado. Naturalmente, cuanto mayor sea el primer margen, mayor será el segundo. La cuantificación de estas relaciones se efectúa más adelante, mediante las llamadas "curvas de eficacia" del estimador.

Importa recordar aquí que, correlativamente al riesgo del suministrador (ver rechazado un hormigón correcto) existe un riesgo del receptor (aceptar un hormigón no correcto). El hecho de que el estimador sea centrado, supuesta una distribución normal -lo que no es estrictamente cierto- se traduce en que ambos riesgos son iguales, lo que supone una situación justa.

Lo dicho hasta aquí viene ilustrado en las figuras 1, 2, 3, 4 y 5, meramente indicativas.

Como puede observarse en las figuras 4 y 5, el aumentar el número N de probetas, el disminuir el coeficiente V de variación del hormigón y el aumentar la resistencia real del mismo respecto a la de proyecto, son posibilidades que conducen todas ellas a disminuir el riesgo del receptor (aceptar hormigón no correcto) y el del constructor (que le rechacen hormigón correcto).

4.2.2.3. - Parámetros del estimador A.

La Tabla 4 presenta, en función del tamaño de la muestra, los parámetros del estimador A (media y desviación típica) en función de la media μ y la desviación típica σ de la población origen supuesta normal.

TABLA 4
Parámetros del estimador A

Tamaño de la muestra N	Media	Desviación típica
6	$K_a (\mu - 1,266 \sigma)$	$0,640 \cdot K_a \cdot \sigma$
12	$K_a (\mu - 1,627 \sigma)$	$0,560 \cdot K_a \cdot \sigma$
18	$K_a (\mu - 1,816 \sigma)$	$0,524 \cdot K_a \cdot \sigma$

Nota: Los valores de K_a figuran en la Tabla 3, en función de N y $V = \frac{\sigma}{\mu}$

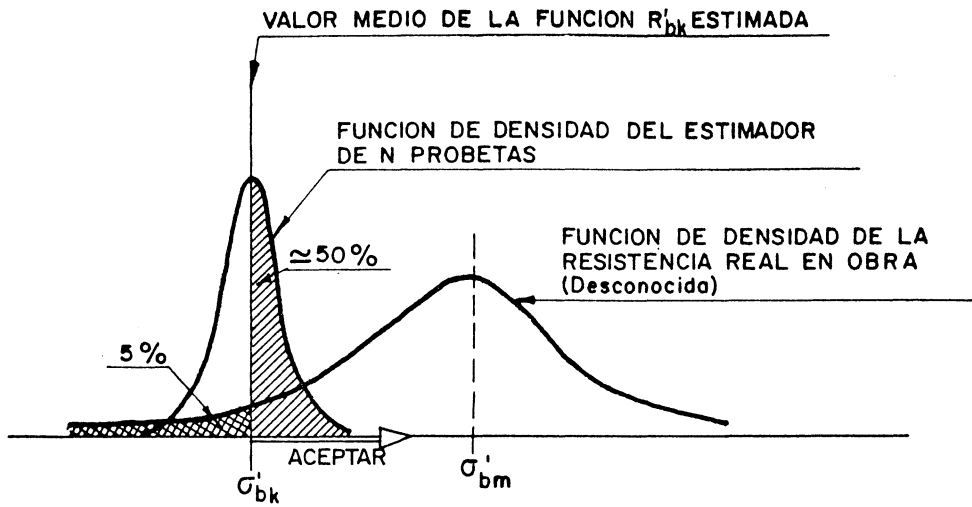


FIG.1- CASO DE HORMIGON ESTRICTO $R'_{bk} = \sigma'_{bk}$

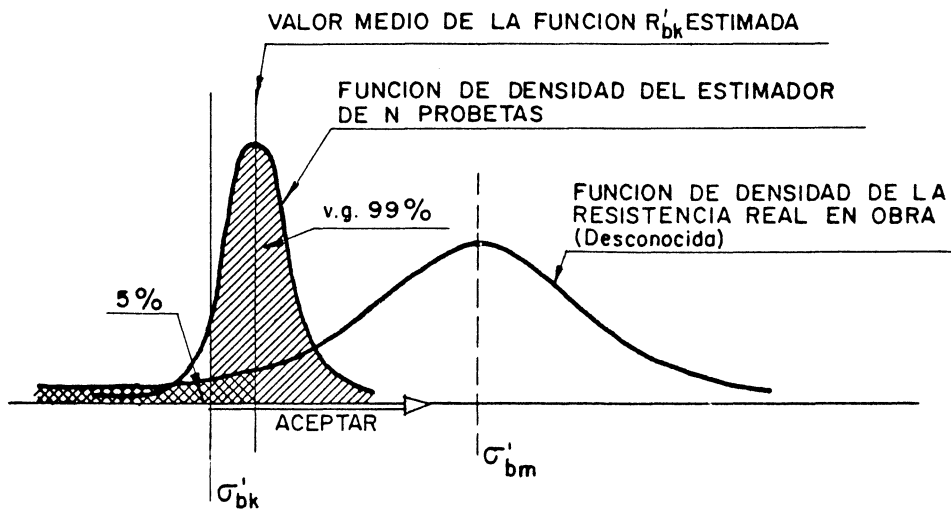


FIG.2- CASO DE HORMIGON LIGERAMENTE SUPERIOR AL ESTRICTO $R'_{bk} > \sigma'_{bk}$

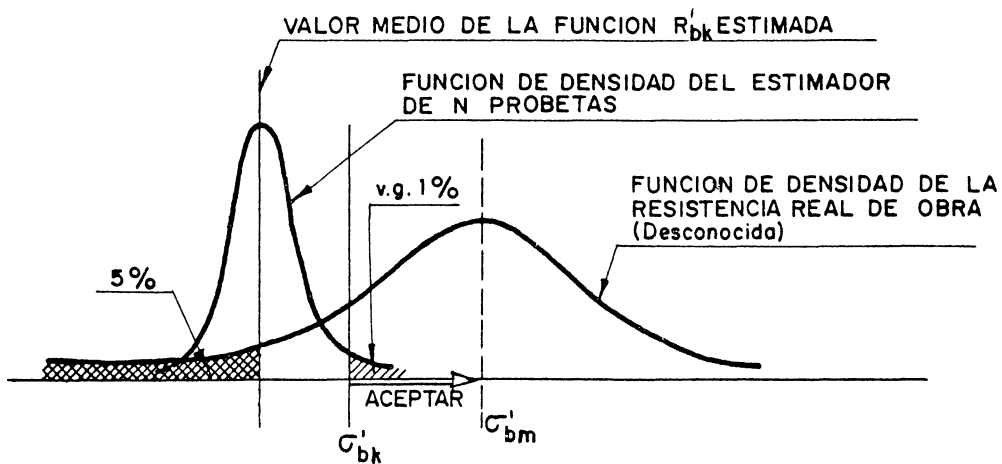
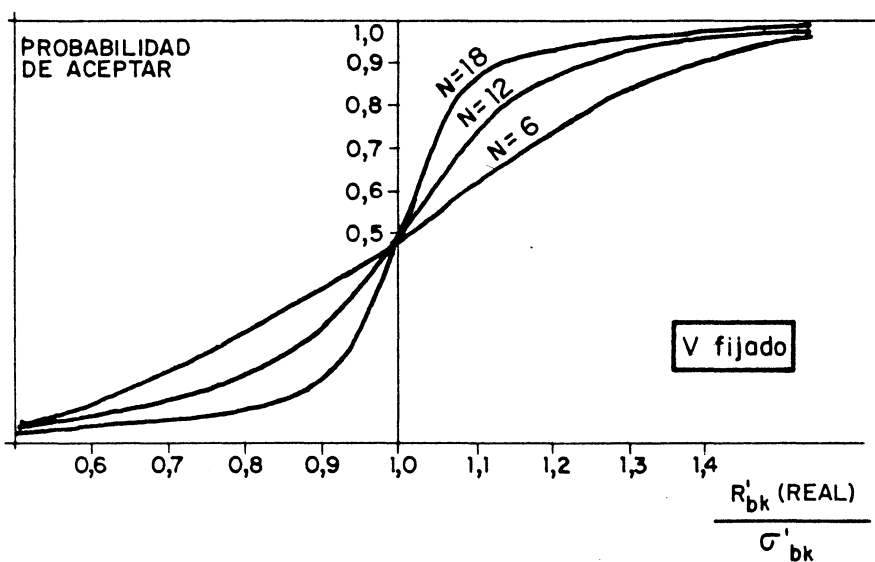
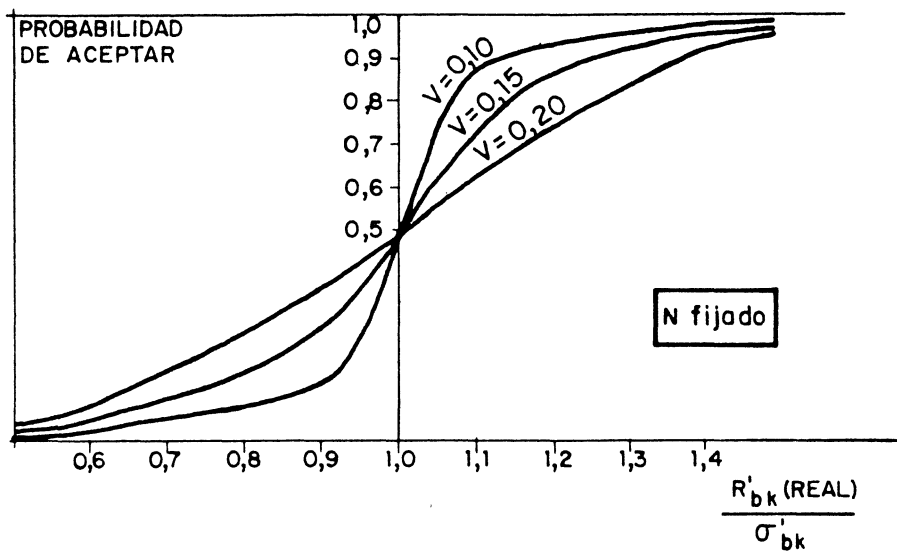


FIG.3- CASO DE HORMIGON LIGERAMENTE INFERIOR AL ESTRICTO $R'_{bk} < \sigma'_{bk}$



FIGS. 4 y 5 - CURVAS DE EFICACIA DE UN ESTIMADOR

4.2.2.4. - Curvas de eficacia del estimador A.

En las figuras 6 a 11 se representan las curvas de eficacia del estimador A, que relacionan la probabilidad de aceptar hormigones en función del valor

$$\frac{R'_{bk \text{ real}}}{\sigma'_{bk}}$$

es decir, en función del cociente entre la resistencia característica real de obra y la resistencia nominal característica o de proyecto. Se dan curvas para diferentes tamaños de muestra ($N = 1, 2, 3, 4, 5$ y 6) y diferentes coeficientes de variación ($V = 0,10; 0,15; 0,20$ y $0,25$).

En la Tabla 5 figuran los valores numéricos correspondientes a estas curvas de eficacia.

TABLA 5

ESTIMADOR A: Probabilidad de aceptar un hormigón, en función de N , V y $\frac{R'_{bk \text{ real}}}{\sigma'_{bk}}$

Tamaño de la muestra N	$V = \frac{\sigma}{\mu}$	$R'_{bk \text{ real}}/\sigma'_{bk}$								
		0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40
1	0,10	0,00	0,00	0,01	0,13	0,50	0,82	0,95	0,99	1,00
	0,15	0,00	0,00	0,05	0,23	0,50	0,73	0,87	0,94	0,97
	0,20	0,00	0,02	0,11	0,29	0,50	0,67	0,80	0,88	0,92
	0,25	0,00	0,04	0,16	0,33	0,50	0,64	0,75	0,82	0,87
2	0,10	0,00	0,00	0,00	0,09	0,50	0,85	0,97	0,99	1,00
	0,15	0,00	0,00	0,03	0,20	0,50	0,75	0,89	0,95	0,98
	0,20	0,00	0,01	0,08	0,27	0,50	0,69	0,81	0,89	0,93
	0,25	0,00	0,03	0,14	0,32	0,50	0,65	0,76	0,83	0,88
3	0,10	0,00	0,00	0,00	0,07	0,50	0,86	0,97	0,99	1,00
	0,15	0,00	0,00	0,02	0,18	0,50	0,76	0,90	0,96	0,98
	0,20	0,00	0,00	0,07	0,26	0,50	0,69	0,82	0,89	0,94
	0,25	0,00	0,03	0,13	0,31	0,50	0,65	0,76	0,83	0,88
4	0,10	0,00	0,00	0,00	0,06	0,50	0,87	0,98	1,00	1,00
	0,15	0,00	0,00	0,01	0,17	0,50	0,76	0,90	0,96	0,98
	0,20	0,00	0,00	0,06	0,25	0,50	0,70	0,82	0,89	0,94
	0,25	0,00	0,02	0,13	0,31	0,50	0,65	0,76	0,83	0,88
5	0,10	0,00	0,00	0,00	0,05	0,50	0,87	0,98	1,00	1,00
	0,15	0,00	0,00	0,01	0,16	0,50	0,77	0,90	0,96	0,98
	0,20	0,00	0,00	0,06	0,25	0,50	0,70	0,82	0,90	0,94
	0,25	0,00	0,02	0,12	0,31	0,50	0,65	0,76	0,83	0,88
6	0,10	0,00	0,00	0,00	0,05	0,50	0,88	0,98	1,00	1,00
	0,15	0,00	0,00	0,01	0,16	0,50	0,77	0,91	0,96	0,98
	0,20	0,00	0,00	0,05	0,24	0,50	0,70	0,82	0,90	0,94
	0,25	0,00	0,02	0,12	0,31	0,50	0,65	0,76	0,83	0,88

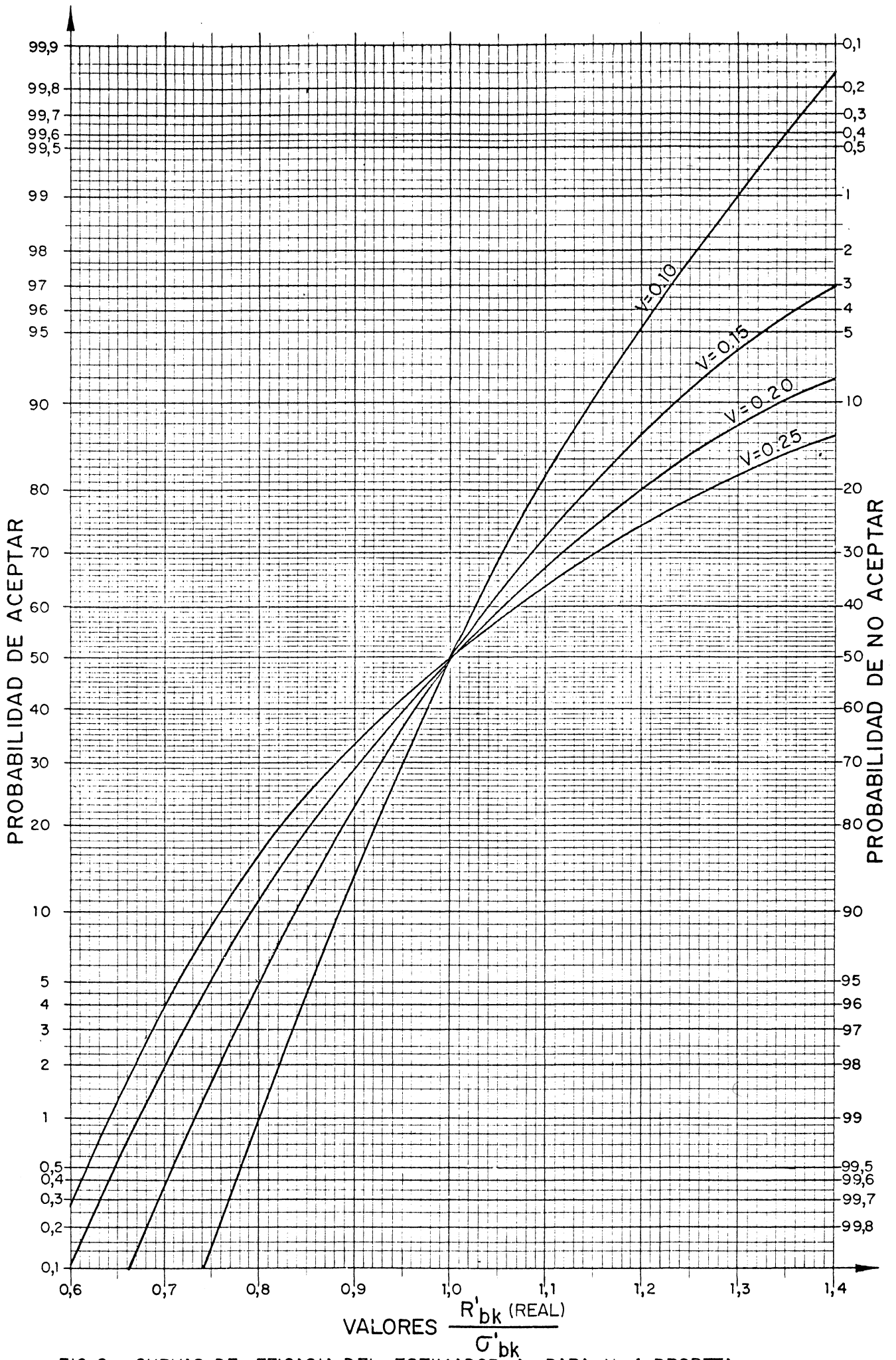


FIG. 6 - CURVAS DE EFICACIA DEL ESTIMADOR \underline{A} PARA N=1 PROBETA

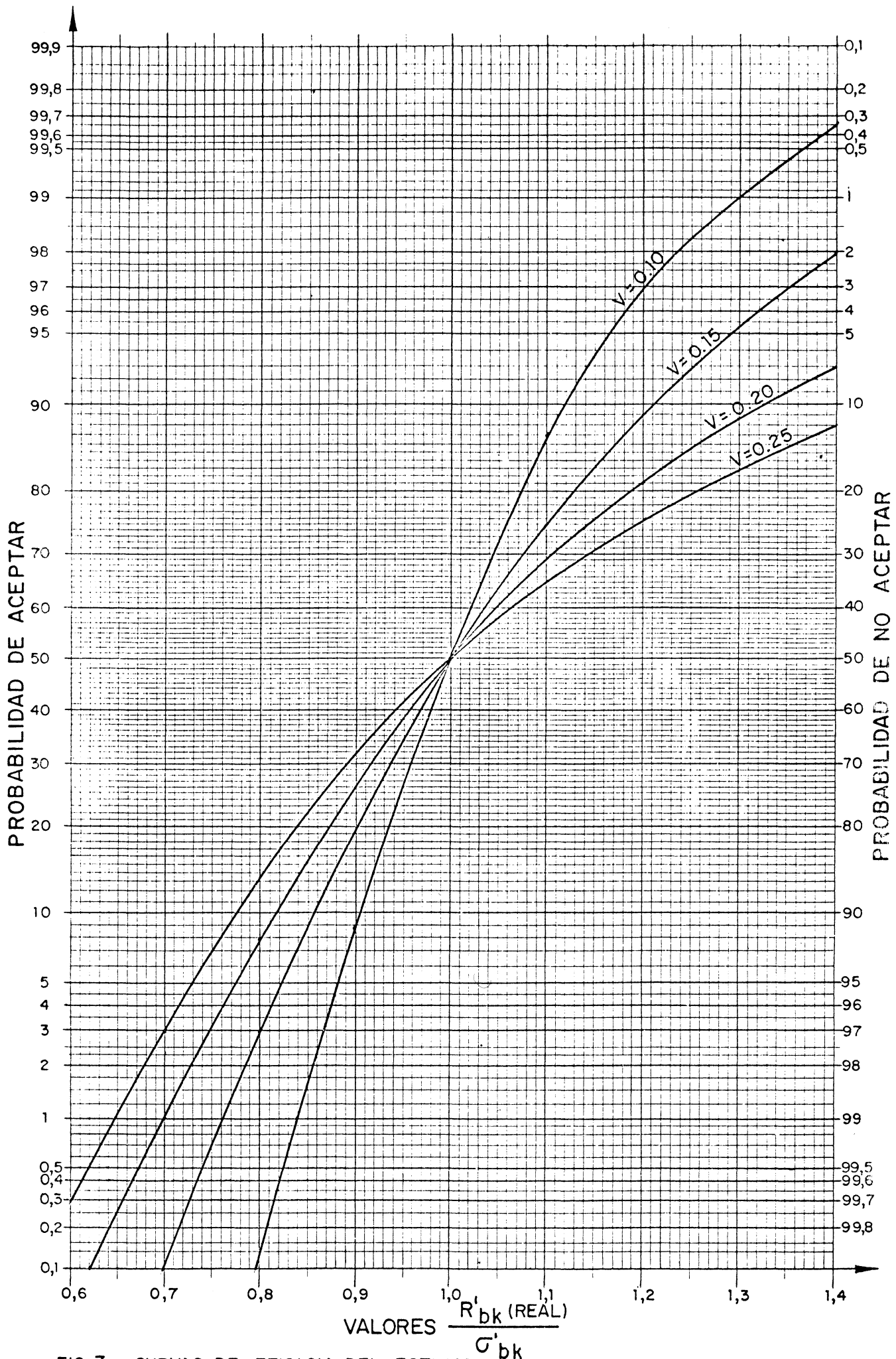


FIG. 7 - CURVAS DE EFICACIA DEL ESTIMADOR \underline{A} PARA N=2 PROBETAS

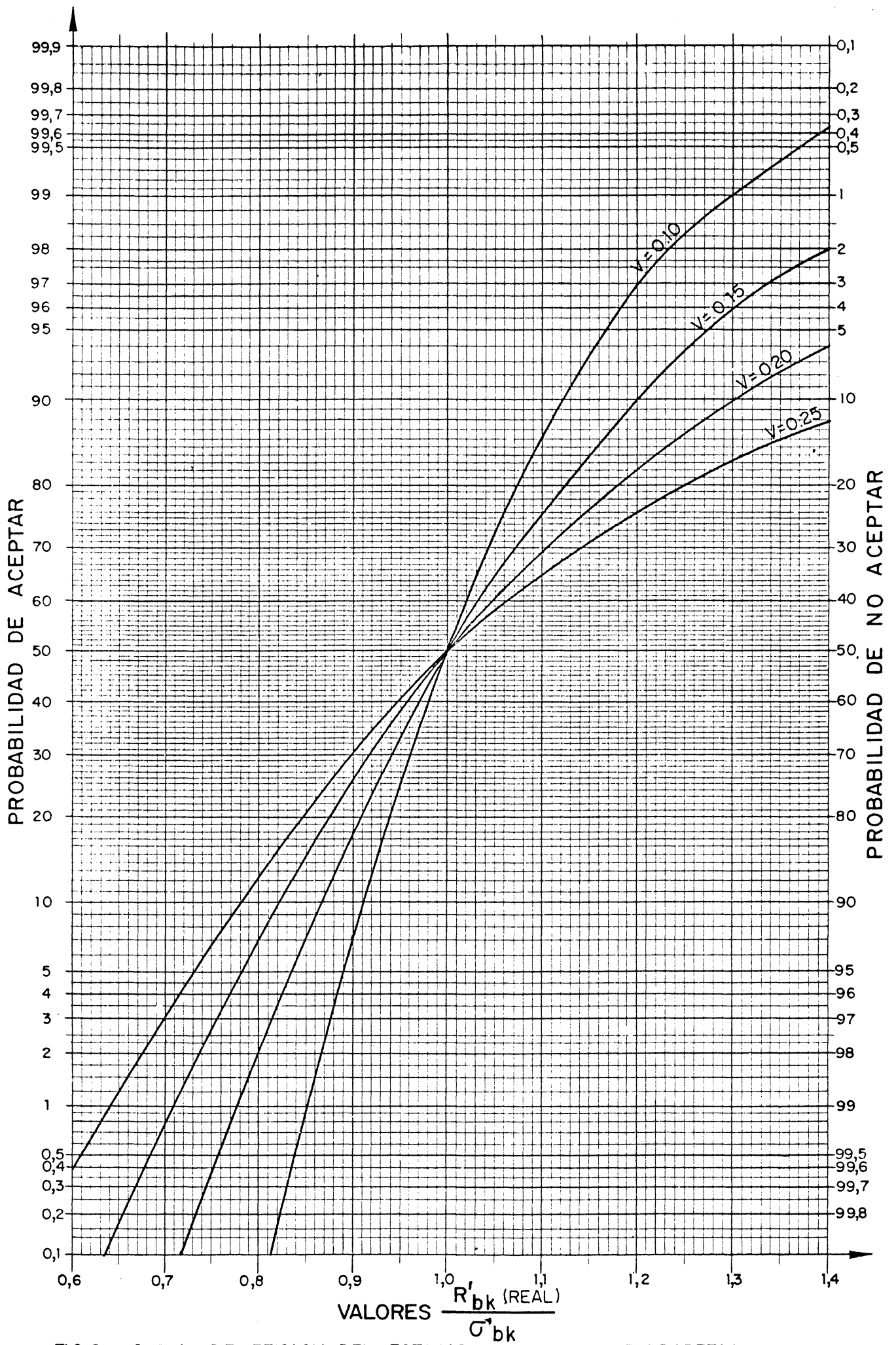


FIG.8 - CURVAS DE EFICACIA DEL ESTIMADOR \underline{A} PARA N=3 PROBETAS

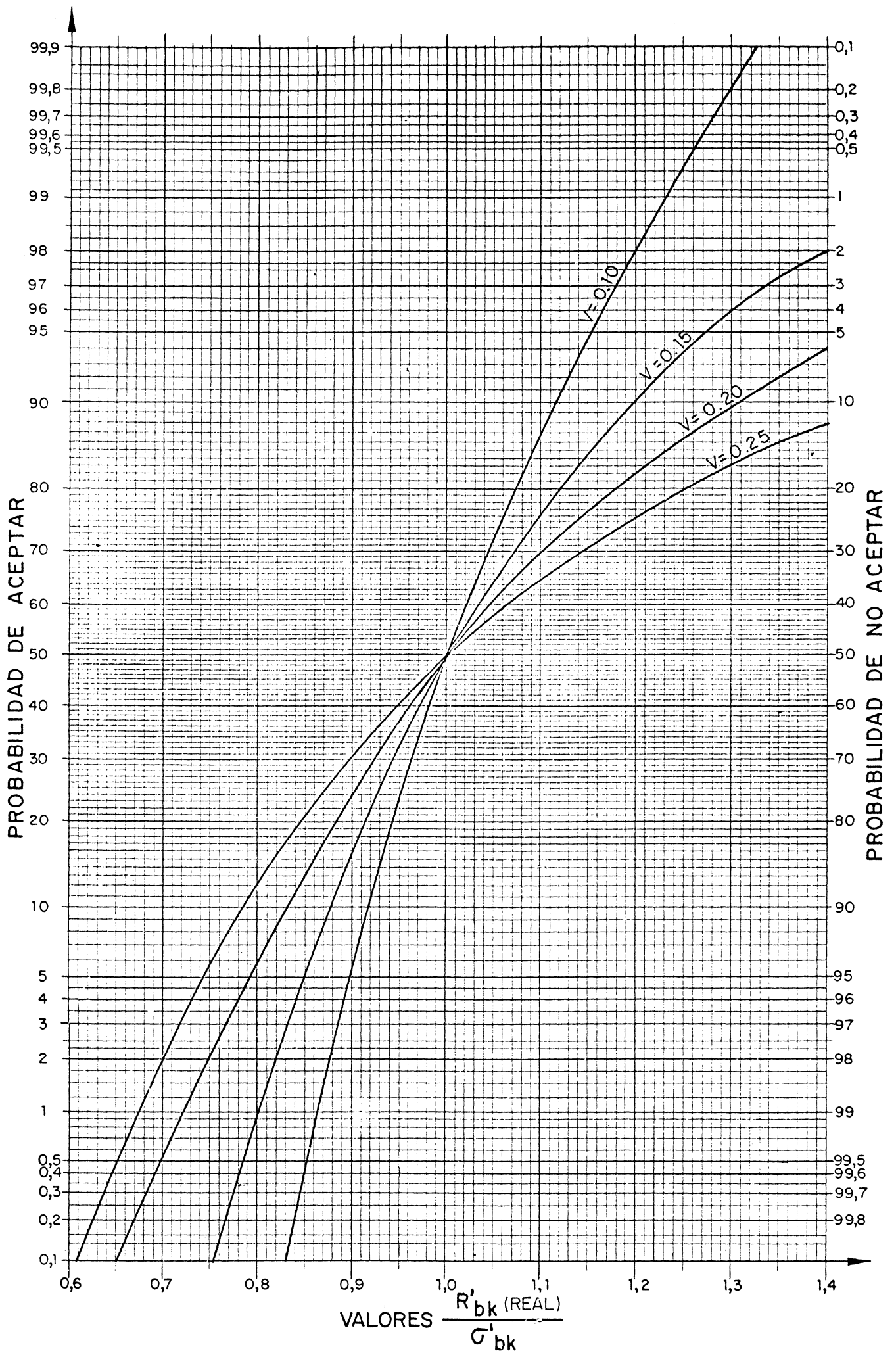


FIG. 9 - CURVAS DE EFICACIA DEL ESTIMADOR σ'_A PARA $N=4$ PROBETAS

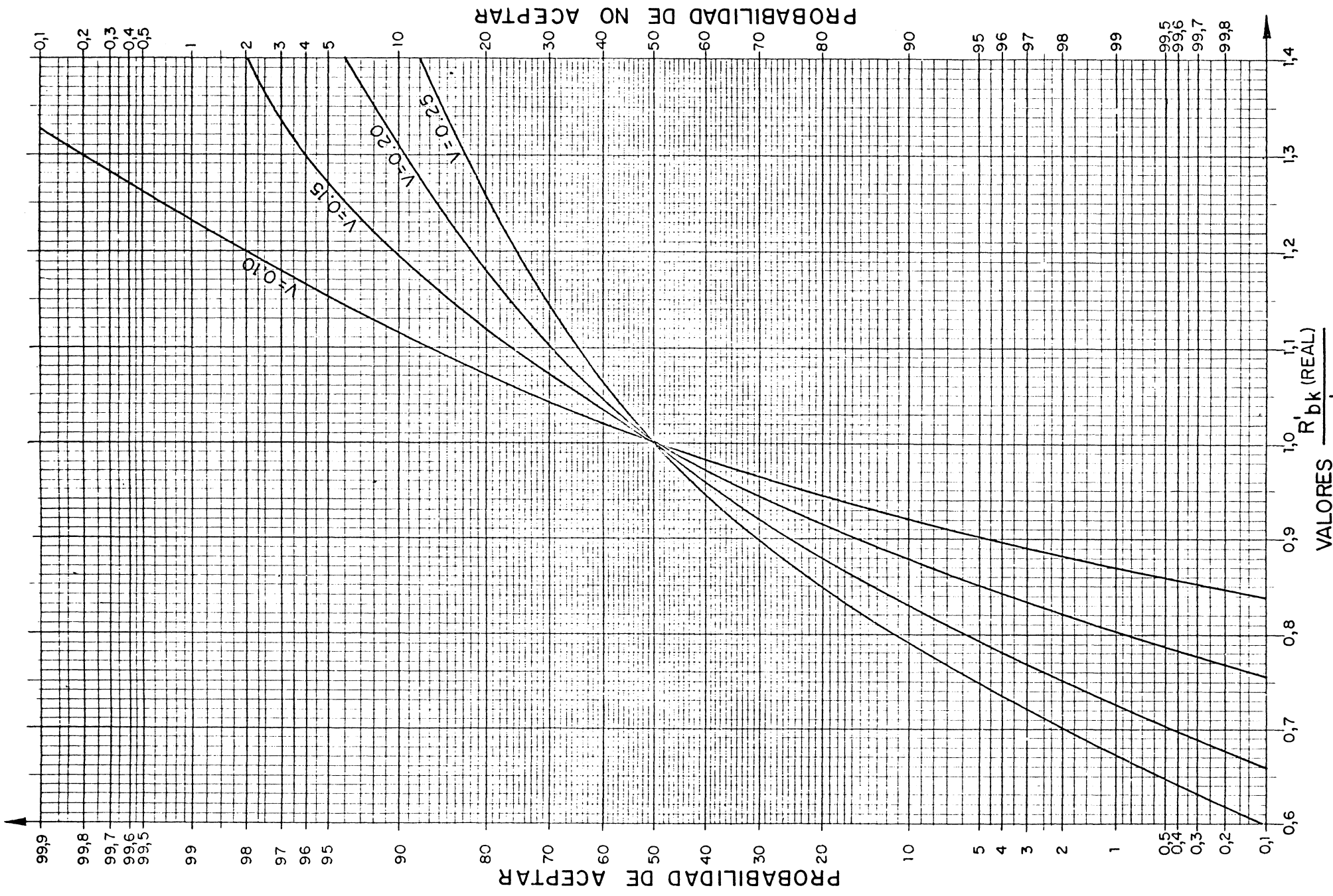


FIG.10- CURVAS DE EFICACIA DEL ESTIMADOR \bar{A} PARA N = 5 PROBETAS

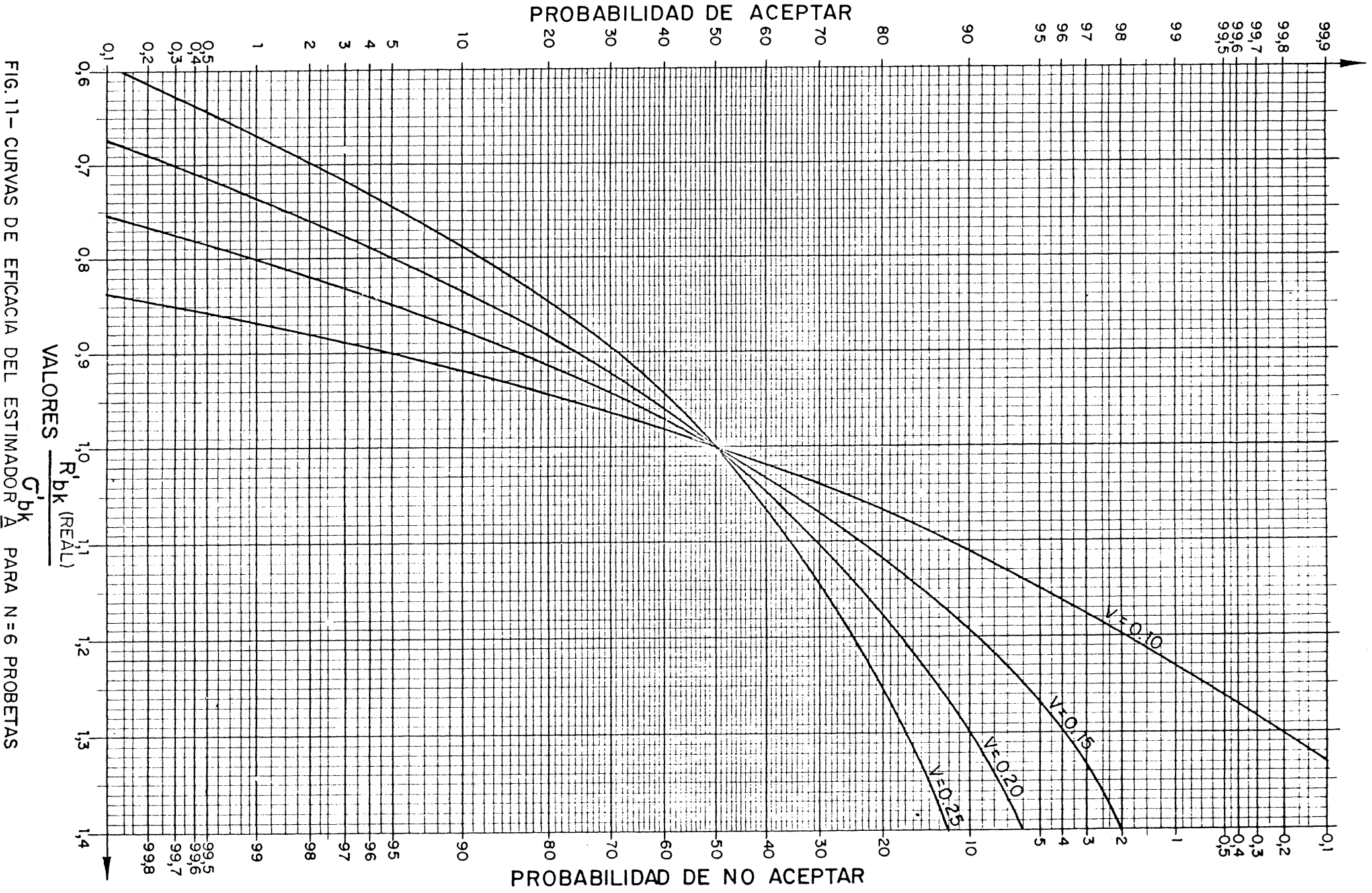


FIG. 11- CURVAS DE EFICACIA DEL ESTIMADOR $\frac{C^i_{bk}}{A}$ PARA N=6 PROBETAS

4.2.3. - Estimación sistemática.

Se está en este caso cuando se emplea el nivel superior de control (punto 4.1.3.), es decir, cuando se opera con un número apreciable de probetas en la práctica no inferior a seis, que se toman y ensayan periódicamente. Se supone una distribución normal de la población, lo cual no introduce grandes errores respecto a la realidad.

4.2.3.1. - Estimador B.

Se define como el doble de la media aritmética de los $n - 1$ resultados más bajos de una serie de $2n$ resultados, disminuido en el valor del resultado enésimo.

$$R(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_{2n}) = 2 \left(\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1}}{n-1} \right) - X_n$$

siendo X_i un resultado genérico de los que componen la muestra, con $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_{2n}$.

Para el caso de 6 resultados se tiene:

$$R = 2 \left(\frac{X_1 + X_2}{2} \right) - X_3 = X_1 + X_2 - X_3$$

Análogamente, para 12 resultados:

$$R = 2 \left(\frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5}{5} \right) - X_6$$

y así sucesivamente.

Si el número de resultados es impar, se prescinde del más alto de la serie.

4.2.3.2. - Estimador C.

Se define como la media aritmética de la sexta parte más baja de resultados, multiplicada por un coeficiente corrector menor que la unidad y próximo a ella, que se toma de una tabla.

$$R(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_{6n}) = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} K_c$$

siendo X_i un resultado genérico de los que componen la muestra, con $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_{6n}$.

Los valores de K_c dependen del número de resultados y del coeficiente de variación del hormigón (desviación típica dividida por la media). Pueden tomarse en la Tabla 6.

Así por ejemplo, para el caso de 6 resultados y $V = 0,20$ se obtiene:

$$R = 0,9 X_1$$

Para el caso de 12 resultados y $V = 0,15$ se obtiene:

$$R = 0,95 \frac{X_1 + X_2}{2}$$

y así sucesivamente.

Si el número de resultados no es múltiplo de 6, se opera con el mayor número, múltiplo de 6, de resultados más bajos y se prescinde de los restantes valores más altos.

TABLA 6
Valores del coeficiente K_c para el estimador C

Uniformidad del hormigón		Excelente	Buena	Regular	Mala
Coeficiente de variación del homigón V		0,10	0,15	0,20	0,25
Número de resultados	6	0,96	0,93	0,90	0,86
	12	0,97	0,95	0,92	0,90
	18	0,97	0,96	0,93	0,91

4.2.3.3. - Propiedades de los estimadores B y C.

Estos estimadores son prácticamente centrados en la resistencia característica de obra lo cual significa que, aplicado a muchos conjuntos de probetas de un mismo hormigón, proporcionan valores de R'_{bk} (resistencia característica estimada de obra) tales que su media aritmética coincide con el $R'_{bk \text{ real}}$ (resistencia característica real de obra).

Lo anterior significa que si el hormigón realizado en obra tiene una resistencia característica real *estrictamente* igual a la del proyecto, existe aproximadamente una probabilidad de 0,5 de que sea aceptada, ya que en el 50 por 100 de los casos la resistencia estimada saldrá mayor que la real.

Consideraciones similares a las contenidas en 4.2.2.2. pueden hacerse para estas propiedades de los estimadores.

4.2.3.4. - Parámetros de los estimadores B y C.

Las Tablas 7 y 8 presentan, en función del tamaño de la muestra, los parámetros de los estimadores B y C (medias y desviaciones típicas) en función de la media μ y la desviación típica σ de la población origen supuesta normal.

TABLA 7
Parámetros del estimador B.

Tamaño de la muestra	Media	Desviación Típica
6	$\mu - 1,71 \sigma$	$0,83 \sigma$
8	$\mu - 1,70 \sigma$	$0,70 \sigma$
12	$\mu - 1,65 \sigma$	$0,54 \sigma$
16	$\mu - 1,65 \sigma$	$0,45 \sigma$
18	$\mu - 1,64 \sigma$	$0,43 \sigma$

TABLA 8
Parámetros del estimador C.

Tamaño de la muestra	Media	Desviación típica (*)
6	$\mu - 1,645 \sigma$	$\leq 0,65 \sigma$
12	$\mu - 1,645 \sigma$	$\leq 0,46 \sigma$
18	$\mu - 1,645 \sigma$	$\leq 0,38 \sigma$

(*) Los valores indicados son una cota superior, conocido V.

4.2.3.5. - Curvas de eficacia de los estimadores B y C.

En las figuras 12, 13 y 14 se representan las curvas de eficacia del estimador B, que relacionan la probabilidad de aceptar hormigones en función del valor

$$\frac{R'_{bk \text{ real}}}{\sigma'_{bk}}$$

es decir, en función del cociente entre la resistencia característica real de obra y la resistencia nominal característica o de proyecto. Se dan curvas para diferentes tamaños de muestra ($N = 6, 12$ y 18) y diferentes coeficientes de variación ($V = 0,10; 0,15; 0,20$ y $0,25$).

En las figuras 15, 16 y 17 se representan las curvas análogas correspondientes al estimador C.

Las curvas de eficacia son válidas cuando se juzga un lote a través de una sola muestra de N resultados, que es la forma habitual de operar.

En las Tablas 9 y 10 se han tabulado los valores numéricos de las curvas de eficacia de los estimadores B y C

4.2.3.6. - Campo de aplicación de los estimadores B y C.

El Pliego Particular de Prescripciones deberá especificar claramente cuál de los estimadores se aplicará en el control de la obra. A falta de tal especificación, corresponde establecerlo al Director de Obra, quién lo hará en forma fehaciente al principio de la misma con validez para toda ella.

El estimador B es de conveniente aplicación cuando puede presuponerse normalidad en la población, es decir, cuando es esperable que todo el hormigón sea fabricado bajo las mismas condiciones esenciales (no hay cambios bruscos en las materias primas ni en el proceso de fabricación).

El estimador C es de conveniente aplicación en los demás casos utilizando el coeficiente de variación V que corresponda.

TABLA 9

ESTIMADOR B: Probabilidad de aceptar un hormigón, en función de N , V y $R'_{bk \text{ real}}/\sigma'_{bk}$

Tamaño de la muestra	$V = \frac{\sigma}{\mu}$	$R'_{bk \text{ real}}/\sigma'_{bk}$								
		0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40
6	0,10	0,00	0,00	0,00	0,11	0,51	0,81	0,93	0,97	0,99
	0,15	0,00	0,00	0,04	0,24	0,51	0,71	0,83	0,90	0,94
	0,20	0,00	0,02	0,13	0,32	0,51	0,64	0,75	0,81	0,86
	0,25	0,01	0,09	0,22	0,38	0,51	0,60	0,68	0,74	0,78
12	0,10	0,00	0,00	0,00	0,03	0,51	0,91	0,99	1,00	1,00
	0,15	0,00	0,00	0,01	0,15	0,51	0,80	0,93	0,98	0,99
	0,20	0,00	0,00	0,06	0,24	0,51	0,72	0,85	0,92	0,95
	0,25	0,00	0,02	0,13	0,32	0,51	0,66	0,77	0,84	0,89
18	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,53	0,96	1,00	1,00	1,00
	0,15	0,00	0,00	0,00	0,10	0,53	0,86	0,97	0,99	1,00
	0,20	0,00	0,00	0,02	0,20	0,53	0,78	0,91	0,96	0,98
	0,25	0,00	0,01	0,08	0,28	0,53	0,71	0,83	0,90	0,94

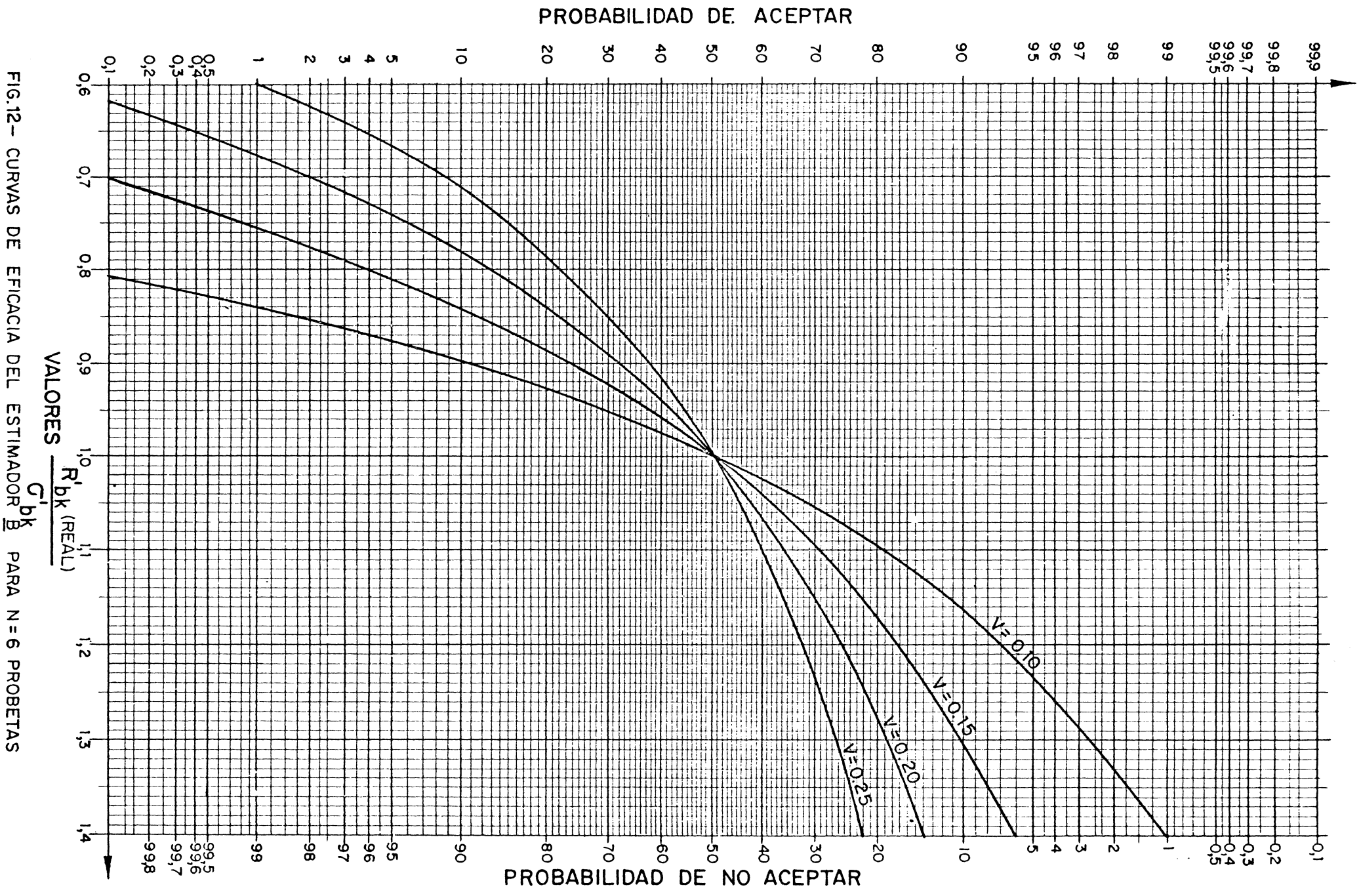


FIG.12- CURVAS DE EFICACIA DEL ESTIMADOR $\frac{C'_{bk}}{R'_{bk}}$ PARA N=6 PROBETAS

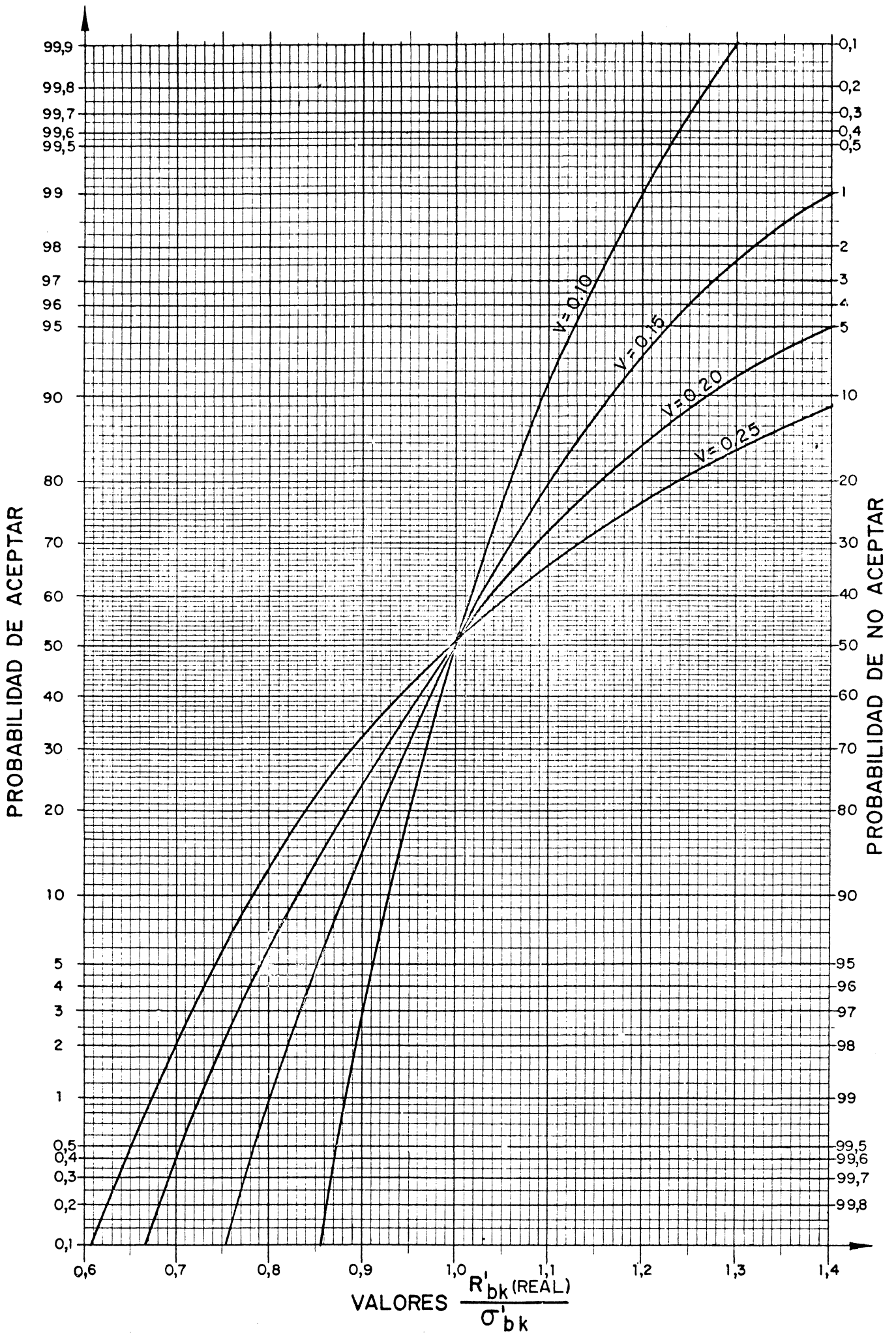


FIG.13- CURVAS DE EFICACIA DEL ESTIMADOR \underline{B} PARA N=12 PROBETAS

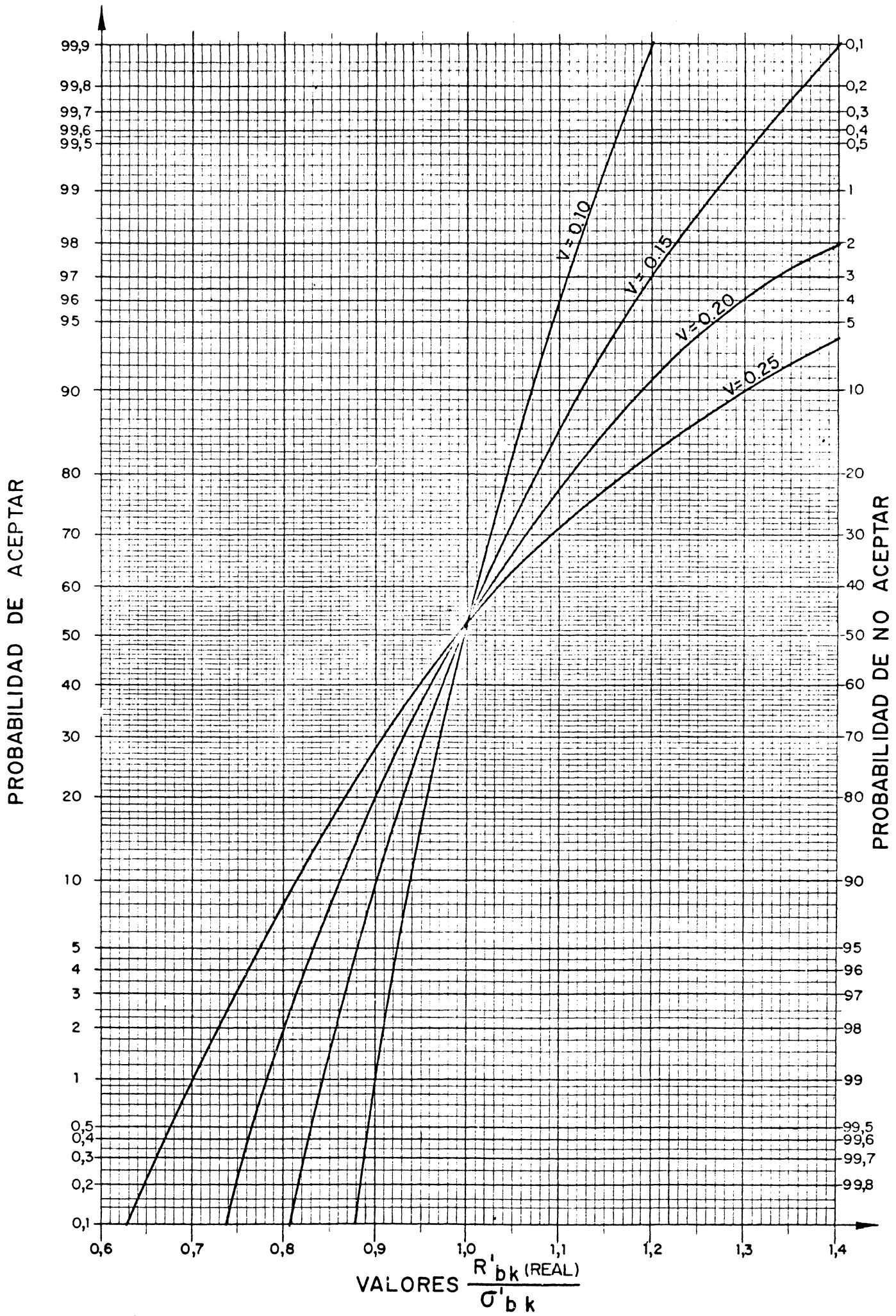


FIG.14- CURVAS DE EFICACIA DEL ESTIMADOR \underline{B} PARA N = 18 PROBETAS

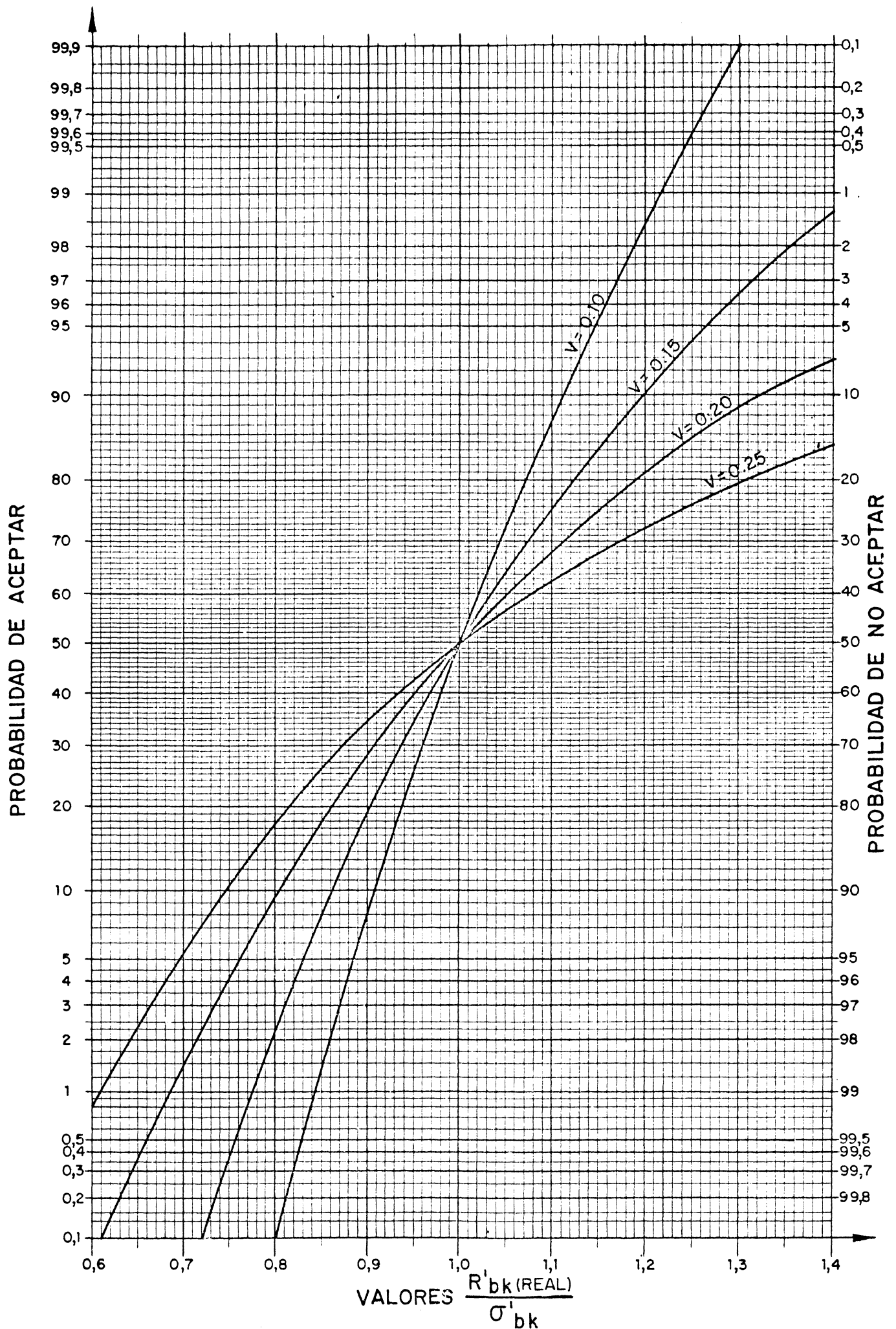


FIG.15- CURVAS DE EFICACIA DEL ESTIMADOR \underline{Q} PARA N = 6 PROBETAS

PROBABILIDAD DE ACEPTAR

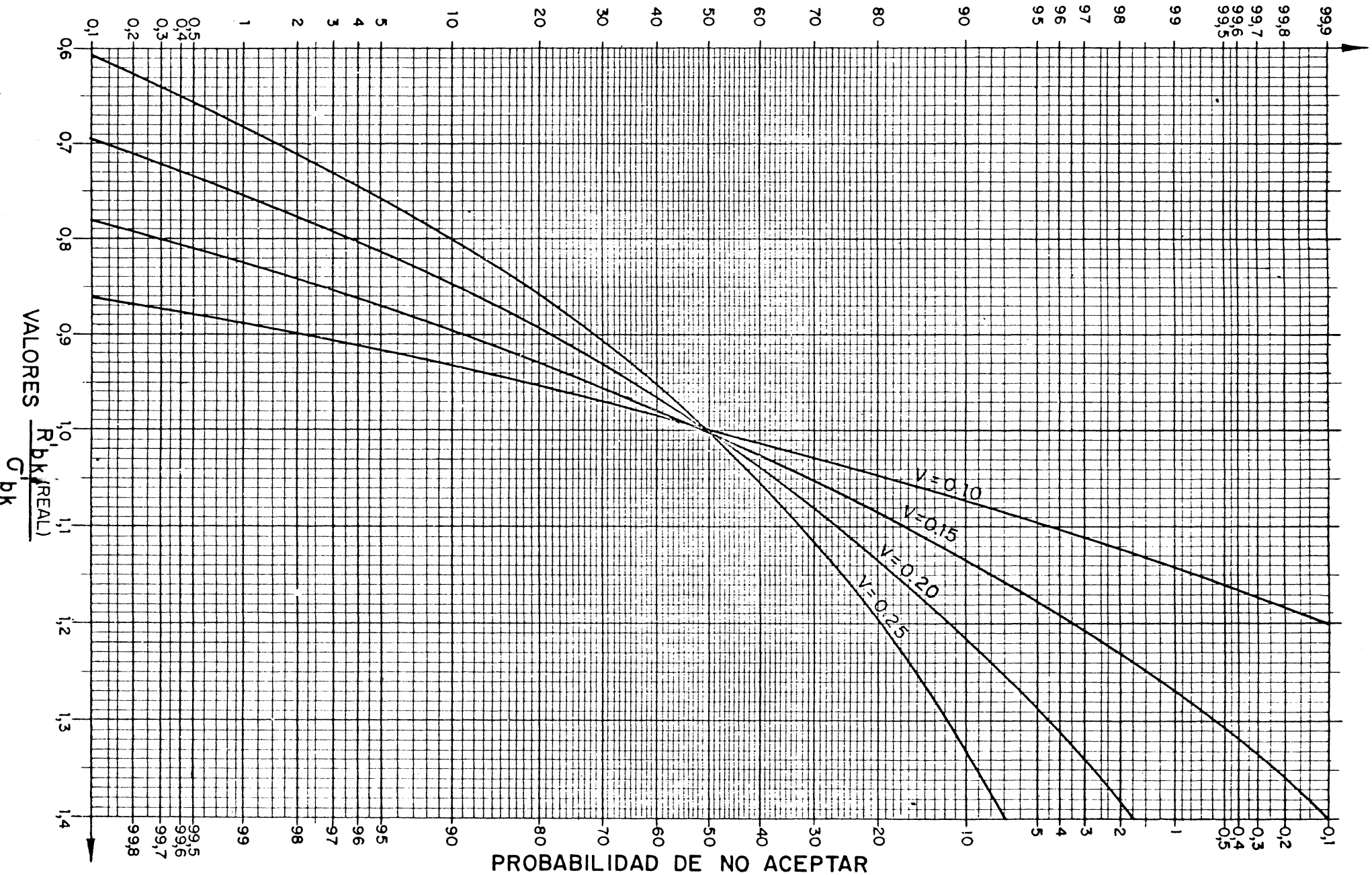


FIG.16 - CURVAS DE EFICACIA DEL ESTIMADOR C'_{bk} PARA N = 12 PROBETAS

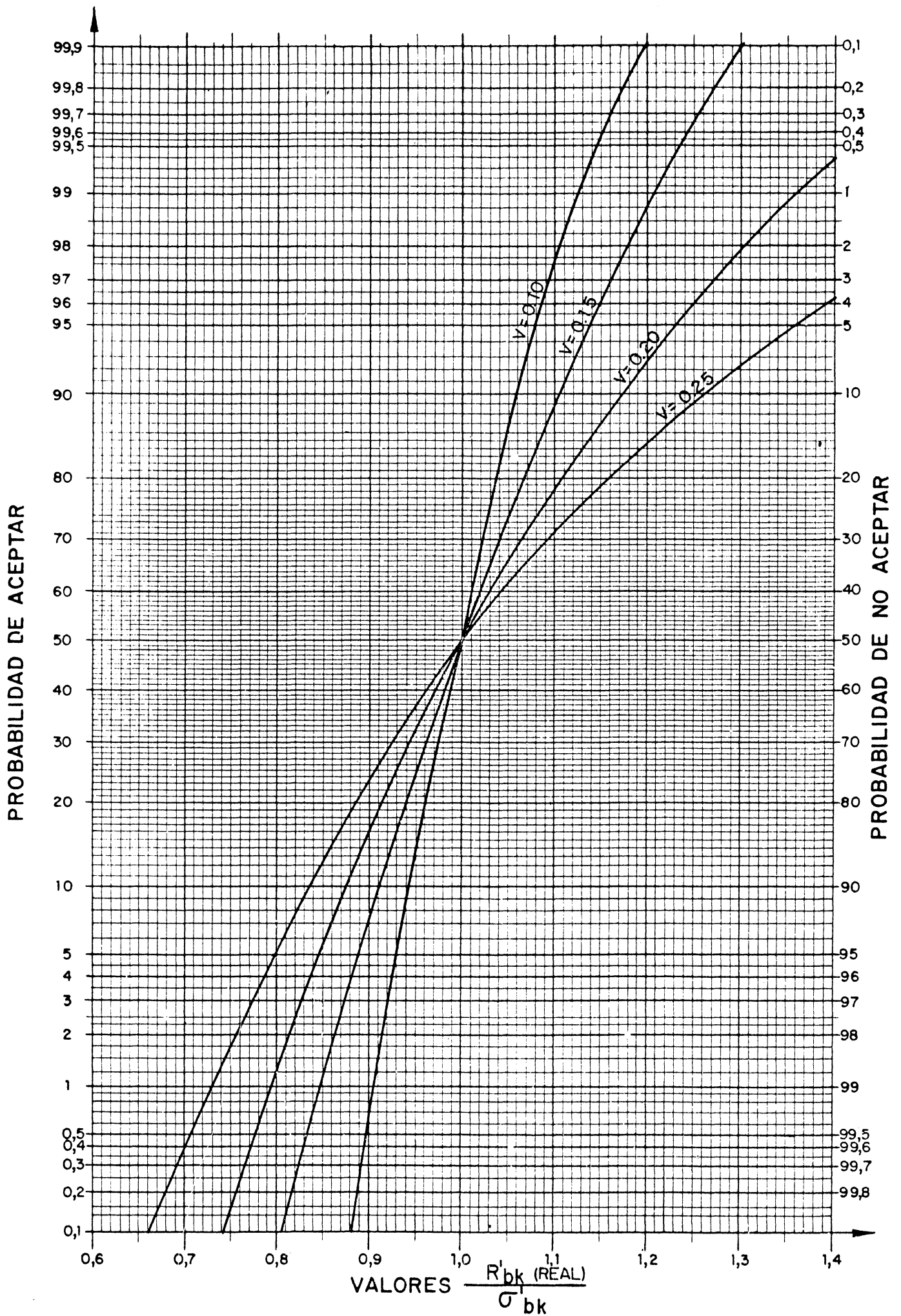


FIG.17- CURVAS DE EFICACIA DEL ESTIMADOR C PARA N=18 PROBETAS

TABLA 10

ESTIMADOR C: Probabilidad de aceptar un hormigón, en función de N, V y $R'_{bk \text{ real}}/\sigma'_{bk}$

Tamaño de la muestra	$V = \frac{\sigma}{\mu}$	$R'_{bk \text{ real}}/\sigma'_{bk}$								
		0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40
6	0,10	0,00	0,00	0,00	0,08	0,50	0,88	0,99	1,00	1,00
	0,15	0,00	0,00	0,03	0,19	0,50	0,76	0,90	0,96	0,99
	0,20	0,00	0,01	0,10	0,28	0,50	0,68	0,81	0,89	0,93
	0,25	0,01	0,06	0,18	0,34	0,50	0,63	0,73	0,80	0,85
12	0,10	0,00	0,00	0,00	0,02	0,50	0,95	1,00	1,00	1,00
	0,15	0,00	0,00	0,00	0,11	0,50	0,84	0,97	0,99	1,00
	0,20	0,00	0,00	0,03	0,21	0,50	0,76	0,89	0,95	0,98
	0,25	0,00	0,01	0,10	0,28	0,50	0,68	0,80	0,88	0,93
18	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,50	0,98	1,00	1,00	1,00
	0,15	0,00	0,00	0,00	0,07	0,50	0,89	0,99	1,00	1,00
	0,20	0,00	0,00	0,01	0,16	0,50	0,79	0,93	0,98	0,99
	0,25	0,00	0,00	0,05	0,24	0,50	0,72	0,85	0,93	0,96

4.2.3.7. - Otros estimadores.

Además de los A, B y C anteriormente definidos, es posible utilizar cualquier otro estimador de la resistencia característica, (cuantil 5 por 100), determinado con arreglo a las teorías de la estadística. De hecho, para el hormigón se han venido utilizando hasta el presente, en nuestro país, otros estimadores de características más o menos análogas a las de los ahora propugnados.

Así por ejemplo, el estimador empleado por el Comité Europeo del Hormigón desde 1964 es:

$$R(X_1, X_2, \dots, X_{2n}) = 2 \left(\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \right) - \frac{X_1 + \dots + X_{2n}}{2n}$$

con $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_{2n}$

que emplea todos los resultados y es menos centrado en la resistencia característica. Sus parámetros, en función del número de resultados, son:

N = 2n	Media	Desviación típica
6	$\mu - 1,41 \sigma$	0,63 σ
12	$\mu - 1,50 \sigma$	0,45 σ
18	$\mu - 1,52 \sigma$	0,36 σ

Otro estimador de sencilla aplicación es:

$$R(X_1, X_2, \dots, X_{8n}) = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \text{ con } X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_{8n}$$

que tiene los siguientes parámetros:

N = 8n	Media	Desviación típica
8	$\mu - 1,42 \sigma$	0,61 σ
16	$\mu - 1,52 \sigma$	0,44 σ
24	$\mu - 1,56 \sigma$	0,35 σ

Un tercer estimador que ha sido aplicado en España es el que figura en la Instrucción HA 61 del Instituto Eduardo Torroja:

$$R(X_1, X_2, \dots, X_{2n}) = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \text{ con } X_1 \leq X_2 \leq X_3 \leq \dots \leq X_{2n}$$

que no ha sido mantenido por haber variado los niveles de confianza internacionalmente adoptados.

4.3. - Métodos de control sistemático de la resistencia del hormigón.

Se han expuesto hasta aquí los principios fundamentales necesarios para establecer un control de calidad de la resistencia del hormigón. En el presente apartado y con base en dichos principios, se desarrolla un método de control que permite, con una sistemática clara, tener los elementos de juicio suficientes para aceptar, penalizar o rechazar los distintos lotes de hormigón.

Corresponde al Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares el establecimiento de un método de control en el que figuren claramente los criterios de aceptación y rechazo. El que a continuación se expone tiene carácter de recomendación, bastando con referirse a él en el documento mencionado para que adquiera carácter de obligatoriedad en la obra de que se trate.

4.3.1. - Sistemática del método recomendado.

Se establecen tres niveles de inspección, Reducido, Normal y Riguroso, a los que corresponden distintos tamaños de muestra (número de resultados por lote):

Nivel de inspección:	Reducido	Normal	Riguroso
Tamaño de la muestra:	6	12	18

El paso de un nivel a otro se hace depender del resultado obtenido al juzgar el lote anterior. Como se ve, dicho paso equivale a modificar el tamaño de la muestra, lo que lleva consigo un cambio en la selectividad del estimador que se esté aplicado.

Al comienzo de la aplicación del control, se utiliza el nivel de inspección Normal (12 resultados por lote) y se determina el valor de R'_{bk} mediante el estimador elegido (*). Dicho valor es:

- Caso de empleo del estimador B:

$$R'_{bk} = 2 \left(\frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5}{5} \right) - X_6 \quad \text{con } X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_{12}$$

(*) Como no se dispone de resultados de ensayos hasta después del primer mes, se recomienda durante dicho período sobredosificar en cemento el hormigón, para no correr riesgos de rechazo.

- Caso de empleo del estimador C:

$$R'_{bk} = K_c \frac{X_1 + X_2}{2}$$

Para el estimador C y si no se poseen datos, por experiencias anteriores, acerca del valor del coeficiente de variación del hormigón, puede suponerse inicialmente $V = 0,20$, con lo que resulta $K_c = 0,92$ (ver apartado 4.2.3.2. y Tabla 6). En lo sucesivo, se irá calculando para cada mes (*) el valor de V que resulta del mes anterior, utilizando las indicaciones de la Tabla 11; con el valor de V , podrá calcularse el valor de K_c de la Tabla 6, de forma muy precisa.

Cualquiera que sea el estimador elegido, se obtendrá un valor de R'_{bk} para el primer lote, a comparar con el valor σ'_{bk} especificando en proyecto. La decisión que debe tomarse para ese primer lote y sucesivos, figura en la Tabla 12.

4.3.2. - Significado de las decisiones.

Cuando R'_{bk} no alcanza a σ'_{bk} por menos de un 10 por 100, la Tabla admite la aceptación automática, pero con penalización. Esta penalización, de carácter económico, consiste en rebajar el precio de abono del hormigón correspondiente en un porcentaje igual (si no especifica otra cosa el Pliego Particular de Prescripciones) al doble del correspondiente a la disminución en resistencia. Ello equivale, en el caso extremo, a abonar el 80 por 100 del precio contratado cuando la resistencia ha disminuido en un 10 por 100.

TABLA 11

Cálculo del coeficiente de variación V.	
-	En el mes se han empleado n conjuntos de 6 resultados cada uno (población = $6n$). Cada muestra consta de uno, dos o tres conjuntos según el nivel de inspección (reducido, normal o riguroso) empleado. La separación de una muestra en conjuntos debe ser aleatoria (es decir, se distribuirán los resultados en grupos de 6 por orden de fabricación de las probetas).
-	Recorrido de cada conjunto: $R = X_6 - X_1$ (diferencia entre los dos valores extremos de la serie de probetas que constituye el conjunto).
-	Recorrido medio = $\bar{R} = \frac{\sum \bar{R}}{n}$
-	Desviación típica estimada $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{2,534}$
-	Valor medio de la población $\bar{X} = \frac{\sum_{6n} x_i}{6n}$ (media de todas las probetas del mes).
-	Coficiente de variación estimado: $V = \frac{\hat{\sigma}}{\bar{X}}$

(*) Este periodo de tiempo puede cambiarse si se desea.

TABLA 12

Decisiones que deben tomarse, en función de la marcha del control.

Nivel de inspección	Alternativas	Decisiones	
		Aceptación automática:	Pasar a nivel de inspección:
Reducido	$R'_{bk} \geq 1,10 \cdot \sigma'_{bk}$	Sí	Reducido
	$1,10 \sigma'_{bk} > R'_{bk} \geq \sigma'_{bk}$	Sí	Normal
	$\sigma'_{bk} > R'_{bk} \geq 0,9 \cdot \sigma'_{bk}$	Sí con penalización	Normal
	$R'_{bk} < 0,9 \cdot \sigma'_{bk}$	No	Normal
Normal	$R'_{bk} \geq 1,10 \cdot \sigma'_{bk}$	Sí	Reducido
	$1,10 \cdot \sigma'_{bk} > R'_{bk} \geq \sigma'_{bk}$	Sí	Normal
	$\sigma'_{bk} > R'_{bk} \geq 0,9 \cdot \sigma'_{bk}$	Sí con penalización	Riguroso
	$R'_{bk} < 0,9 \cdot \sigma'_{bk}$	No	Riguroso
Riguroso	$R'_{bk} \geq 1,10 \sigma'_{bk}$	Sí	Normal
	$1,10 \sigma'_{bk} > R'_{bk} \geq \sigma'_{bk}$	Sí	Normal
	$\sigma'_{bk} > R'_{bk} \geq 0,9 \cdot \sigma'_{bk}$	Sí con penalización	Riguroso
	$R'_{bk} < 0,9 \cdot \sigma'_{bk}$	No	Riguroso

Cuando R'_{bk} no alcanza a σ'_{bk} por más de un 10 por 100, no cabe la aceptación automática. El Director de Obra ponderará, en función del porcentaje de disminución de resistencia y, *sobre todo, en función del reflejo que dicho porcentaje tenga en la seguridad de los elementos en entredicho*, cuál sea la decisión más conveniente, que podrá ir desde la penalización económica hasta la demolición. Esta última nunca deberá ordenarse sin un estudio previo de otras posibilidades menos extremas (pruebas de carga; refuerzos, etcétera).

Recorrido de cada conjunto: R - X - X (diferencia entre los dos valores extremos de la serie de probetas que constituye el conjunto).

En cualquier caso, siempre que resulte $R'_{bk} < \sigma'_{bk}$, el constructor tiene derecho a la extracción y ensayo, a su costa, de probetas testigo, en cuyo caso la base de juicio se traslada automáticamente de las probetas enmoldadas a estas otras. Los criterios de aceptación y rechazo en el caso de probetas testigo figuran en el apartado siguiente.

4.3.3. - Precisiones respecto a probetas enmoldadas y probetas testigo.

El control de resistencia del hormigón se efectúa sobre probetas enmoldadas durante el hormigonado, por razones de comodidad y economía. Si los resultados son positivos, no es necesario efectuar nuevas comprobaciones. Pero en caso contrario, antes de emitir dictamen definitivo debe recurrirse a la extracción y ensayo de probetas testigo, las cuales reflejan con menor margen de incertidumbre la resistencia real del hormigón en litigio.

Este menor margen de incertidumbre permite aplicar criterios de aceptación y rechazo algo más tolerantes, como se indica en el apartado 4.3.4.

4.3.4. - Caso de extracción de probetas testigo.

Corresponde al Director de Obra señalar el número de testigos, no menor de 6, y su ubicación. Una vez rotos, el valor más bajo obtenido se multiplicará por el coeficiente K_n que corresponda, de acuerdo con los valores de n y V , de la Tabla 3 (apartado 4.2.2.1.). El resultado, dividido por 0,9 es el valor de R'_{bk} que debe compararse con σ'_{bk} cualquiera que sea la edad de la probeta testigo.

El mencionado coeficiente divisor de 0,9 se introduce en consonancia con lo indicado en el apartado 4.3.3. Ello conduce a que, en los casos ordinarios ($n = 6$ y $V = 0,20$), el valor de R'_{bk} coincida prácticamente con el resultado más bajo obtenido en la rotura de las probetas testigo.

Si resulta $R'_{bk} \geq \sigma'_{bk}$ se aceptará el hormigón. Si resulta $\sigma'_{bk} > R'_{bk} \geq 0,9 \sigma'_{bk}$ se aceptará con penalización económica. Y si resulta $R'_{bk} < 0,9 \sigma'_{bk}$ el Director de Obra decidirá la actuación más conveniente, habida cuenta de la influencia que esta circunstancia puede tener en la seguridad de los elementos en entredicho.

4.3.5. - Control de calidad de elementos localizados.

Cuando no se trata de calificar un lote amplio sino un elemento estructural individualizado, el problema deberá resolverse por información experimental directa, calculando la seguridad real (es decir, con $\gamma_a = \gamma_b = 1$) que tal elemento presente.

Debe recordarse que en el caso de soportes o piezas hormigonadas en vertical, la resistencia de proyecto σ'_{bk} se introduce en el cálculo minorada en un 10 por 100, por lo que a efectos del control de calidad la comparación ha de realizarse entre los valores R'_{bk} y $0,9 \sigma'_{bk}$

5 - CONTROL DE LA EJECUCION

5.1. - Generalidades.

Los sistemas de control expuestos en los Capítulos 3 y 4 van encaminados a garantizar la calidad propia de cada material. Es obvio sin embargo que un hormigón que, a la salida de hormigonera, cumpla todas las especificaciones de calidad, puede verse disminuido en esa calidad si su transporte, colocación y curado no son correctos. Algo análogo puede decirse respecto al corte y doblado de las barras.

En definitiva, el control de materiales ha de ir acompañado del de la ejecución si se quiere controlar realmente la calidad de la obra. Este control abarca las dimensiones de encofrados y armaduras.

Básicamente, el control de la ejecución está confiado a la inspección visual de las personas que lo ejercen, por lo que el buen sentido, los conocimientos técnicos suficientes y la experiencia práctica de estas personas son fundamentales para lograr el nivel de calidad previsto.

La existencia de personal adecuado del constructor, claramente destinado a trabajos de control, es básica para la calidad y la seguridad de la obra y constituye de hecho un control de producción. Con independencia de ello, que puede existir o no, el control que aquí se especifica corresponde a la Dirección de la Obra y constituye un control de recepción de las distintas partes de obra.

La Tabla 13 resume las etapas fundamentales del control de ejecución, y su relación con los artículos correspondientes de la Instrucción EH 68.

5.2. - Niveles de control.

El control de la ejecución puede llevarse a cabo según tres niveles distintos, de acuerdo con lo indicado en el punto 1.2. La definición de dichos niveles, que conducen a un control reducido, normal o intenso respectivamente, no puede establecerse de forma rígida, pudiendo servir de guía lo que a continuación se indica.

- Nivel inferior:** La Dirección de obra realiza el control mediante visitas espaciadas sin carácter periódico, durante las cuales efectúa observaciones no sistemáticas sobre las operaciones relacionadas en la Tabla 13.
- Nivel intermedio:** La Dirección de obra realiza el control mediante visitas periódicas relativamente frecuentes, durante las cuales comprueba sistemáticamente un conjunto parcial de las operaciones de la Tabla 13, rotando las comprobaciones con objeto de cubrir toda la Tabla en dos o tres visitas.
- Nivel superior:** La Dirección de obra realiza el control disponiendo además de un técnico permanente en obra que realiza comprobaciones sistemáticas de todas las operaciones de la Tabla 13.

TABLA 13

Operaciones objeto de control durante la ejecución.

En las operaciones que proceda se efectuará el control dimensional.

Fase de control de ejecución	Operaciones que se controlan	Artículos correspondientes de la Instrucción EH 68
PREVIO AL HORMIGONADO	Revisión de planos de proyecto y planos de obra.	—
	Comprobación, si es necesaria, de hormigoneras, vibradores, maquinaria de transporte, etc.	—
	Andamiajes y cimbras.	11
	Encofrados.	
	Doblado de armaduras.	12
	Colocación de armaduras.	13
	Transporte del hormigón.	16
	Previsión de juntas.	17
	Previsión de hormigonado en tiempo frío.	18
DURANTE EL HORMIGONADO	Previsión de hormigonado en tiempo caluroso.	—
	Previsión de hormigonado bajo lluvia.	
	Colocación del hormigón.	16
	Compactación del hormigón.	16
	Juntas.	17
	Hormigonado en tiempo frío.	18
	Hormigonado en tiempo caluroso.	—
	Hormigonado bajo lluvia.	—
	POSTERIOR AL HORMIGONADO	Curado.
Desencofrado y descimbramiento.		20
Previsión de acciones mecánicas durante la ejecución.		21
Reparación de defectos superficiales.		—

6 - EXPRESION DE LOS RESULTADOS DEL CONTROL

Los resultados del control, tanto referentes a la calidad de los materiales como a la ejecución, deben consignarse en partes o informes que contengan los valores obtenidos, así como la indicación clara de la zona de obra a que se refieren.

Esta documentación deberá ser archivada por el Director de Obra.