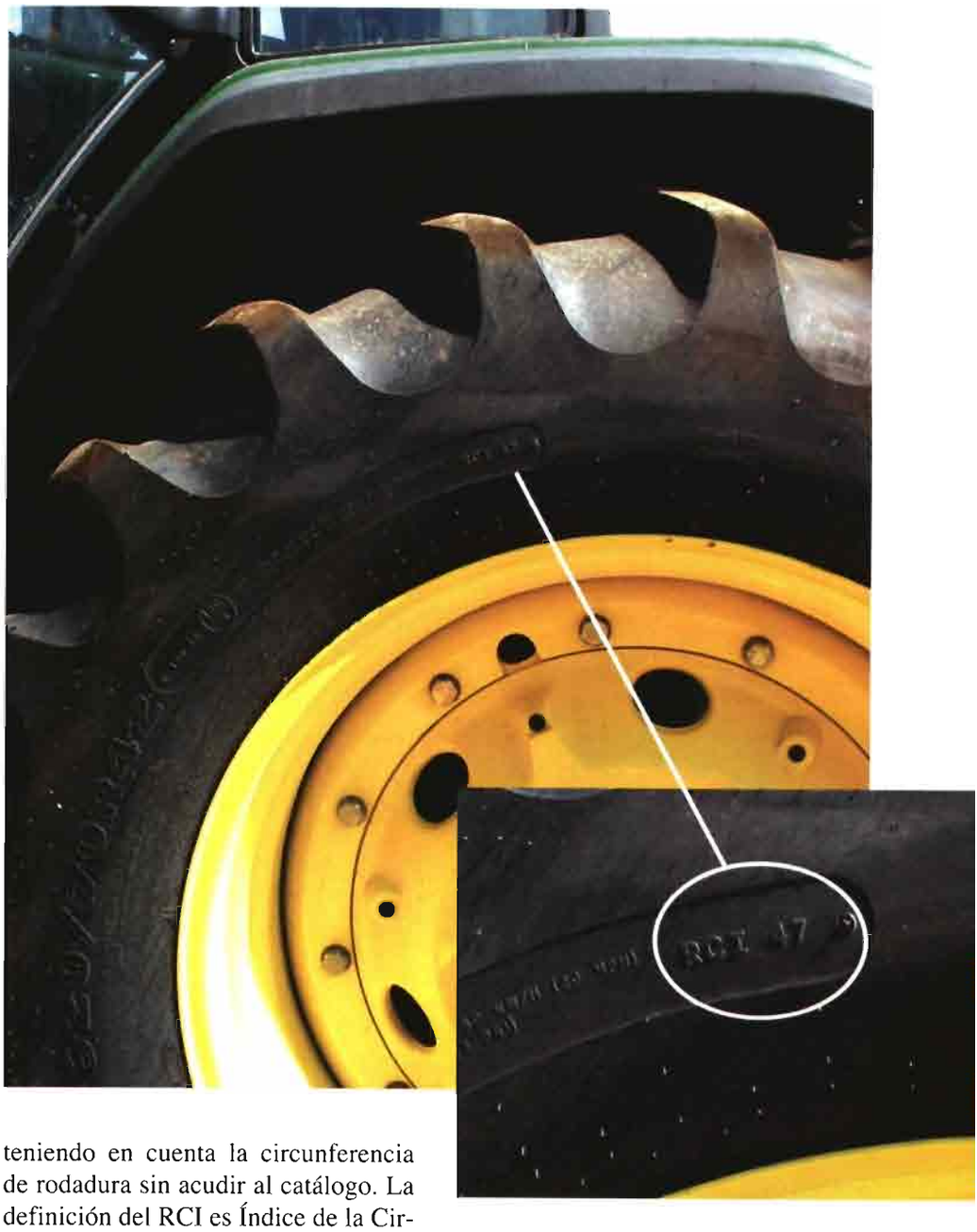


Pilar Linares
Dr. Ing. Agrónomo

RCI: ÍNDICE DE LA CIRCUNFERENCIA DE RODADURA

En la última FIMA de Zaragoza, algunos neumáticos, en concreto los de la marca Goodyear, llevaban en el flanco, junto con todos los indicadores habituales que corresponden a la marcación normalizada, una nueva indicación. En concreto, las siglas RCI, seguidas de un número. No he tenido ocasión de comprobar si otras firmas también incorporaban estas nuevas siglas.



Vaya por delante su significado. Se trata de un indicador de una característica del neumático que con la marcación estándar no se proporcionaba, la circunferencia de rodadura. Recordemos que en la marcación normalizada se informa de la anchura del neumático, la relación altura/anchura del mismo (no siempre), el diámetro de la llanta, el índice de carga, el código de velocidad y la presión de inflado nominal. Sin embargo, la circunferencia de rodadura es algo que había que obtener del catálogo del neumático. Pues bien, este índice no nos la proporciona directamente, pero nos informa sobre ella, o más bien, nos ayuda a seleccionar el neumático teniendo en cuenta la circunferencia de rodadura sin acudir al catálogo. La definición del RCI es Índice de la Circunferencia de Rodadura *(Rolling Circumference Index).*

Tengo que decir que su descubrimiento en un neumático en Zaragoza no fue propio, sino asistido (gracias, Iván), pero en definitiva, una satisfacción, porque llevaba un par de años con el convencimiento de que llegaría este momento, ya que es un parámetro que puede ser de gran utilidad práctica a la hora de cambiar los neumáticos.

¿Por qué? ¿Qué es, en definitiva el RCI? Empezaremos por la utilidad y luego explicaremos de dónde sale.

¿POR QUÉ SE NECESITA LA CIRCUNFERENCIA DE RODADURA PARA ELEGIR EL NEUMÁTICO?

Hemos dicho que el RCI informa de la circunferencia de rodadura. ¿Por qué necesitamos la circunferencia de rodadura a la hora de cambiar el neumático? ¿No me vale con saber que es un 18.4 R-38? Pues no. En realidad debo saber también la circunferencia de rodadura, sobre todo si el tractor es de doble tracción

Veamos. El problema tiene que ver con los tractores de doble tracción de ruedas desiguales, los famosos tractores de doble tracción con tracción delantera auxiliar (los que la terminología americana llama MFWD). Para los fabricantes es complicado el diseño de este tipo de tractores porque:

- Deben conseguir que la velocidad real de avance de los dos ejes sea la misma (el tractor no es un acordeón).
- Desarrollan potencia en tracción, lo que provoca transferencia de peso del eje delantero al trasero (y encima esa fuerza es variable y también la transferencia).
- El terreno que pisan las ruedas delanteras y traseras (motrices) no está en las mismas condiciones. Las traseras se apoyan en un terreno sobre el que ya se han apoyado las delanteras.
- Como consecuencia de todo lo anterior, es difícil saber cual va a ser el deslizamiento en ambos ejes. Hay que tener en cuenta que el deslizamiento es una consecuencia de aplicar fuerzas en la zona de contacto de las ruedas con el suelo, que producen una deformación del suelo y, en definitiva, una pérdida de avance, es decir, de velocidad. Pero resulta que la manera que tiene el suelo de deformarse depende de su naturaleza, por supuesto, pero también de las fuerzas que se le apliquen, y no sólo las horizontales (consecuencia del par que llega a las ruedas motrices) sino también, y eso es lo formidable, de las verticales. Cuanto más carga vertical se aplique al suelo, más resiste éste las fuerzas horizontales (menos patinamiento). A su vez, las verticales dependen del reparto de peso entre ambos ejes y de la transferencia de peso, que, como hemos dicho, depende de la fuerza de tracción.
- Aquí es donde se produce el follón. Resulta que el tractor va a desarrollar fuerza de tracción (y que ésta no va a ser siempre la misma), que esto va a producir variaciones en el peso sobre los ejes y que el suelo bajo cada rueda no está en las mismas condiciones. Con este planteamiento, se pretende diseñar la transmisión de manera que las velocidades teóricas en ambos ejes sean tales que, con el deslizamiento que se produce en ambas ruedas, las velocidades reales de avance sean iguales.



> ***"Conocer la circunferencia de rodadura de un neumático es imprescindible para efectuar una sustitución"***

¿Cómo se consigue este milagro? Los fabricantes han llegado, después de muchos estudios y ensayos, a diseñar el vehículo con una relación entre las vueltas que dan las ruedas delanteras y traseras (Relación Mecánica: RM) tal que la velocidad teórica de las ruedas delanteras sea un poquito superior a la de las traseras: el famoso 'adelanto' o 'anticipo', del que ahora se habla tanto.

Con este adelanto suponen que la cosa funciona y, al final, las velocidades reales se igualan. Recuerden que, en definitiva, para conseguir la igualdad de la velocidad real de los dos ejes, alguien tendrá que hacer de fusible y que, como en todos los fusibles, el primero que salta es el más débil, es decir, por este orden:

- El terreno, si estamos en suelo blando (patinamiento).
- Las ruedas, si estamos en suelo duro (desgaste de tacos de la rueda delantera).
- El embrague de accionamiento de la tracción delantera.
- La transmisión (eso sería lo más doloroso).

En resumen, para que la cosa funcione, el tractor debe tener un anticipo entre el 1-5%. No es el momento ahora de meterse con el anticipo. Sólo recordar que se calcula en función de la Relación Mecánica RM (que suele valer 1.32-1.38) y la relación entre los radios de los neumáticos, RR (trasero/delantero viene a ser 1.30-1.31). El 'adelanto' se calcula dividiendo ambas relaciones:

$$a = RM / RR$$

Este valor suele ser de aproximadamente 1.01-1.05. Como no es un

número '¡amigable', se presenta de otra forma. Si le restamos uno y lo multiplicamos por 100 resulta otra forma de expresarlo, que recibe el nombre de 'anticipo':

$$A = (a-1) \times 100$$

En el ejemplo anterior, hablaríamos de un anticipo del 1 ó del 5%, que es mucho más sencillo para manejarlo.

Para calcular el anticipo se necesitan los radios de las ruedas. Sí, pero ¿qué radios?. Cuando los fabricantes de neumáticos recomiendan que el anticipo esté entre el 1 y el 5%, lo hacen pensando que se midan los radios en las condiciones reales de funcionamiento del tractor, que, evidentemente, no coinciden con los datos del catálogo, que corresponden a las prestaciones máximas del neumático (carga máxima por rueda a la presión de inflado nominal o de marcación). Sin embargo, no siempre se tiene ese dato.

Cuando se van a cambiar los neumáticos no siempre se pueden hacer pruebas, aparte de que luego, en cada labor, las cosas varían. Por ello, aunque siempre es aconsejable medir el anticipo en las condiciones de funcionamiento, para tener un parámetro estándar se usan los radios de catálogo.

Por fin hemos llegado a la circunferencia de rodadura, que es la que viene en el catálogo, pero que no aparece en la marcación normalizada. ¿Cómo la conseguimos? Pues a través del concesionario de neumáticos, el del tractor, Internet... Sin embargo, la experiencia demuestra que no siempre están todos los neumáticos en el catálogo, o no tengo acceso fácil a Internet... Para eso ha llegado el RCI.

¿POR QUÉ AYUDA EL RCI A ELEGIR EL NEUMÁTICO?

El RCI es un número que informa acerca de la circunferencia de rodadura. Directamente no proporciona la circunferencia de rodadura (indirectamente, sí, y el que llegue hasta el final podrá comprobarlo), pero su misión es doble:

- Informar sobre la circunferencia de rodadura del neumático.
- Ayudar a la hora de cambiar el neumático sin necesidad de tener el valor numérico de la circunferencia de rodadura.

El segundo de los objetivos es el que tiene mayores consecuencias prácticas para el usuario. ¿Cómo lo logra? Pues la idea es la siguiente:

- Cada rueda, delantera y trasera, tiene su RCI.
- Para que el tractor funcione bien, cada cambio de neumático debe respetar la diferencia de RCI entre ambas ruedas.

Punto final. Así de sencillo. Si el tractor tiene una rueda trasera con RCI 45 y la delantera con RCI de 41, hay 4 puntos de RCI de diferencia entre una y otra. Si sólo cambio la delantera, tiene que ser una que lleve marcado RCI 41. Si cambio las dos, podría poner atrás 44 y adelante 40, porque se sigue manteniendo la diferencia de 4 puntos entre el RCI de ambas.

La idea resulta atractiva la idea y responde a la filosofía de que la técnica es cada vez más complicada, pero ya que es tan compleja, que incluya elementos de ayuda a la toma de decisiones. Que los ingenieros se las ingenien para descubrir formas de hacer la técnica asequible al gran usuario.



> ***"Para que un tractor funcione bien debe de respetar la diferencia del RCI entre ruedas delanteras y traseras"***

¿QUÉ ES REALMENTE EL RCI?

Después de lo expuesto anteriormente, queda la curiosidad de saber qué es realmente el RCI, ya que no es directamente la circunferencia de rodadura.

Si les digo de golpe que es *"el número anterior al que indica la posición de los términos de una progresión geométrica que proporciona la circunferencia de rodadura, cuyo primer término es 500 mm y en la que la razón de la progresión es la raíz de orden 44 de 10"*, me matan (y todavía no he dicho quién es el RCI), pero es

así, y eso indica lo que discurren los ingenieros de las empresas para convertir semejante definición en algo tan sencillo y tan útil como hemos visto anteriormente.

Vamos a aproximarnos un poco mas para comprender esa definición. Una progresión geométrica es una sucesión de números en el que cada uno se calcula multiplicando el anterior por un número fijo que llamamos razón de la progresión. Así, por ejemplo, los 10 primeros términos de la progresión geométrica cuyo primer término fuera 1 y razón 2 (número por el que hay que multiplicar un término para obtener el siguiente) sería:

Posición	Término
1	1
2	2
3	4
4	8
5	16
6	32
7	64
8	128
9	256
10	512

En esta progresión decimos que el término que ocupa la posición 4 vale 8; el término 9 vale 256 y así sucesivamente. También se puede comprobar que el término que ocupa la posición 2 se calcula multiplicando el primero por la razón; el término que ocupa posición 3 se calcula multiplicando el segundo por la razón, pero como el segundo era el primero por la razón, resulta que es el primero por la razón dos veces, es decir, el primero por la razón al cuadrado y así sucesivamente. Para verlo más fácilmente utilizando la herramienta matemática:

$T_2 = T_1 * k$

$T_3 = T_2 * k = (T_1 * k) * k = T_1 * k * k = T_1 * k^2$

$T_4 = T_3 * k = (T_1 * k^2) * k = T_1 * k^2 * k = T_1 * k^3$

Cada término se calcula en función del primero, de la razón y de la posición que ocupa el término considerado (multiplicando la razón tantas veces como indica la posición menos uno).

Aplicado este concepto al RCI digamos que los términos de la progresión son valores de la circunferencias de rodadura y que el primer término de la progresión vale 500 mm, que se considera como circunferencia de rodadura-base. La razón de la progresión geométrica, es decir, el número por el que multiplicamos cada uno para obtener el siguiente, es la raíz (de orden 44) de 10, o lo que es lo mismo, una potencia de 10 cuyo exponente es 1/44, cuyo valor es 1.054:

$$\sqrt[44]{10} = 10^{1/44} = 1{,}0537 \approx 1{,}054$$

Vamos a hacer la tabla de circunferencias de rodadura en los primeros 10 términos de la progresión, en la que se puede comprobar fácilmente cómo cada término se calcula multiplicando el anterior por 1.0537:

Posición	RC
1	500
2	527
3	555
4	585
5	616
6	650
7	684
8	721
9	760
10	801

TABLA 1
RCI (Índice del radio de la circunferencia) y RC (circunferencia de rodadura) calculada a partir de RCI

RCI	RC (RCI) mm	RCI	RC (RCI) mm
0	500	29	2 280
1	525	30	2 405
2	555	31	2 530
3	585	32	2 670
4	615	33	2 810
5	650	34	2 965
6	685	35	3 120
7	720	36	3 290
8	760	37	3 465
9	800	38	3 655
10	845	39	3 850
11	890	40	4 055
12	935	41	4 275
13	985	42	4 505
14	1 040	43	4 745
15	1 095	44	5 000
16	1 155	45	5 270
17	1 215	46	5 550
18	1 285	47	5 850
19	1 350	48	6 165
20	1 425	49	6 495
21	1 500	50	6 845
22	1 580	51	7 210
23	1 665	52	7 600
24	1 755	53	8 010
25	1 850	54	8 440
26	1 950	55	8 890
27	2 055	56	9 370
28	2 165	57	9 870

Dada la definición de una progresión geométrica, cada término se puede calcular multiplicando el primer término por la razón elevada a un número que es el que indica la posición menos uno. Pues bien, ese número es el RCI. La tabla anterior quedaría:

Posición	RCI	RC
1	0	500
2	1	527
3	2	555
4	3	585
5	4	616
6	5	650
7	6	684
8	7	721
9	8	760
10	9	801

Los términos 38 a 47, que proporcionan circunferencias de rodadura habituales en los tractores serían:

Posición	RCI	RC
38	37	3 466
39	38	3 653
40	39	3849
41	40	4 056
42	41	4 274
43	42	4 503
44	43	4 745
45	44	5 000
46	45	5 269
47	46	5 552

Como vemos, a partir de la circunferencia de rodadura base (500 mm) y del RCI se puede calcular la circunferencia de rodadura, que en definitiva, queda:

$$RC(RCI) = 500 * 10^{\frac{RCI}{44}}$$

y así, la circunferencia de rodadura de un neumático marcado con RCI 41, resulta ser:

$$RC(41) = 500 * 10^{\frac{41}{44}} = 4270mm$$

Los valores reales que salen de la progresión geométrica se han redondeado para asignar la circunferencia de rodadura definitiva a cada familia de RCI, según aparece en la Tabla 1, proporcionada por Goodyear.

Sólo una pequeña observación respecto a la progresión geométrica que se utiliza en el cálculo de las circunferencias de rodadura. Pertenece a un tipo especial de progresiones que tienen en común que el hecho de que la razón es una raíz de 10. Se llaman 'Series Normales' o 'Series de Renard' (en honor a un ingeniero militar francés que las descubrió) y los números que de ellas se obtienen son los llamados 'números normales' que se utilizan muchísimo en los procesos de fabricación industrial.

A título de ejemplo, todo el gran mundo de los ajustes y tolerancias con el que se fabrican la mayoría de las piezas que componen las máquinas se basa en series normales. Se les llama Serie R10, serie R20, serie R40..., indicando el orden de la raíz de 10 que se utilice. Así, la serie de las circunferencias de rodadura sería la serie R44, puesto que se trata de raíz de 10, de orden 44.

¿POR QUÉ PUEDO CAMBIAR LAS RUEDAS MANTENIENDO EL RCI?

Hasta ahora se ha descrito el significado del RCI. Vamos ahora a justificar por qué puedo cambiar un neumático por otro con igual RCI.

Resumiendo todo lo anterior, podríamos decir que en un tractor, que lleva un neumático trasero marcado con RCIT y uno delantero marcado con RCID, las circunferencias de rodadura de ambos neumáticos valen:

$$RC_T = RC_0 * k^{RCI_T}$$
$$RC_D = RC_0 * k^{RCI_D}$$

siendo:

- RC: Circunferencia de rodadura (mm);
- RC0: Circunferencia de rodadura base (500 mm)
- k: Razón de la progresión ($10^{1/44}$)
- RCI: Índice de la circunferencia de rodadura



- T: Trasera
- D: Delantera

Recordemos que para que el tractor esté correctamente ajustado en el tema de ruedas, se requiere que se mantenga en los límites establecidos el valor del el adelanto, calculado como:

$$a = RM / RR$$

Si se adquiere un tractor con unos determinados neumáticos, hay que sospechar que los neumáticos son los adecuados, y la relación entre los radios (RR) de la rueda trasera y delantera, o lo que es lo mismo, sus circunferencias de rodadura, sería:

$$RR = \frac{RR_T}{RR_D} = \frac{RC_0 * k^{RCI_T}}{RC_0 * k^{RCI_D}} = \frac{k^{RCI_T}}{k^{RCI_D}}$$

Si echamos mano de las benditas matemáticas nos acordaremos de aquello de que 'el cociente de potencias de la misma base es otra potencia de la misma base y cuyo exponente es la diferencia de los exponente', por lo que la relación de radios queda:

$$RR = k^{(RCI_T - RCI_D)}$$

Ya hemos llegado al quid de la cuestión. Si yo cambio las ruedas pero mantengo la diferencia entre los RCI de ambas ruedas, la relación de radios será la misma. Como la relación mecánica siempre lo es, mantengo constante el adelanto que tenía. Por supuesto que el cambio tiene que estar en los valores admisibles de velocidad máxima autorizada para el tractor.

TABLA 2

RC (circunferencia de rodadura) y diámetro total de una serie de neumáticos Goodyear ordenadas por tamaño

TAMAÑO	DISEÑO	ROLLING CIRC. (IN)	OVERALL DIAMETRO (IN)	OVERALL WIDTH (IN)
200/70R16	DT810 Radial	81.0	27.0	7.4
240/70R16	DT810 Radial	87.4	29.2	9.6
260/70R16	DT810 Radial	91.1	30.5	10.2
280/70R16	DT810 Radial	94.5	31.7	11.2
250/80R16	Super Traction Radial	97.5	32.6	10.3
7.50R18	Super Traction Radial	101.3	33.9	8.1
280/70R18	DT810 Radial	101.7	34.0	10.8
250/80R18	Super Traction Radial	103.7	34.6	10.1
260/70R20	DT810 Radial	103.7	34.5	10.2
280/70R20	DT810 Radial	107.3	35.8	11.1
260/80R20	Super Traction Radial	112.0	37.4	10.3
300/70R20	DT810 Radial	112.8	37.7	11.6
11.2R20	Super Traction Radial	117.6	39.4	11.5
12.4R20	Super Traction Radial	123.3	40.9	12.6
360/70R20	DT810 Radial	123.5	41.5	14.1
380/70R20	DT810 Radial	126.3	42.4	15.0
320/70R24	DT810 Radial	129.7	43.2	12.1
320/75R24	DT710 Radial	130.3	43.4	12.3
11.2R24	Super Traction Radial	130.7	43.4	11.4
12.4R24	Super Traction Radial	135.1	44.9	12.6
360/70R24	DT810 Radial	136.5	45.6	14.0
380/70R24	DT810 Radial	139.8	46.8	14.8
13.6R24	Super Traction Radial	141.4	47.0	13.8
420/70R24	DT810 Radial	146.2	49.0	16.6
14.9R24	Super Traction Radial	146.4	48.7	15.4
14.9R24	DT710 Radial	149.1	49.8	15.7
360/70R28	DT810 Radial	149.1	49.7	13.9
380/70R28	DT810 Radial	152.0	50.7	15.1
13.6R28	Super Traction Radial	153.2	51.0	13.8
16.9R24	Super Traction Radial	154.4	51.9	17.7
13.6R28	DT710 Radial	155.0	51.6	14.3
480/70R24	DT812 Radial	155.3	52.1	19.1
13.6R28	Dyna Torque Radial	155.4	51.8	14.0
14.9R26	Dyna Torque Radial	155.6	52.0	14.8
420/70R28	DT810 Radial	158.7	52.9	16.9
14.9R28	Super Traction Radial	158.8	52.9	15.2
12.4R32	Super Traction Radial	159.3	53.1	12.6
250/95R34	DT800 Radial	159.7	53.2	9.9
380/85R28	UltraTorque Radial	160.1	53.4	15.0
14.9R28	Dyna Torque Radial	161.2	53.8	15.2
14.9R28	DT710 Radial	161.5	53.8	15.7
16.9R26	Super Traction Radial	161.8	53.9	17.6
16.9R26	Dyna Torque Radial	163.1	54.6	17.0
14.9R30	Super Traction Radial	164.7	54.9	15.2
290/95R34	DT730 Radial	166.9	55.4	11.1
320/85R34	Dyna Torque Radial	166.9	55.4	12.6
14.9R30	Dyna Torque Radial	167.4	55.8	15.2
14.9R30	DT710 Radial	167.6	55.8	15.7
480/70R28	DT810 Radial	167.9	56.1	19.1
250/90R38	DT800 Radial	168.0	55.7	9.9
380/85R30	UltraTorque Radial	168.0	56.0	15.0
16.9R28	Super Traction Radial	168.1	56.1	17.6
320/85R34	DT800 Radial	168.1	55.9	12.6
420/85R28	UltraTorque Radial	168.3	56.2	17.0
16.9R28	Dyna Torque Radial	168.7	56.4	17.2
16.9R28	DT710 Radial	169.3	56.5	18.1
440/80R28	VersaTorque Radial	169.3	56.5	18.1
18.4R26	Super Traction Radial	170.2	56.8	19.2
12.4R36	Super Traction Radial	170.6	56.9	12.6
18.4R26	Dyna Torque Radial	171.5	57.5	19.0
540/65R30	DT820 Radial	172.7	57.6	20.9
16.9R28	Special Sure Grip TD8 Radial	173.0	58.2	16.9
16.9R30	Super Traction Radial	173.4	57.9	17.6
480/70R30	DT810 Radial	174.8	58.4	18.9
16.9R30	Dyna Torque Radial	175.2	58.5	17.2
600/65R28	DT820 Radial	175.2	58.7	23.3
16.9R30	DT710 Radial	175.4	58.5	18.1
380/85R34	DT800 Radial	176.8	58.9	15.0
13.6R36	Super Traction Radial	176.9	59.1	13.8
320/85R38	DT800 Radial	177.2	58.8	12.6
290/90R38	DT800 Radial	177.3	58.9	11.4
420/90R30	UltraTorque Radial	177.3	59.2	17.0
380/85R34	UltraTorque Radial	177.4	59.0	15.0
16.9R30	Special Sure Grip TD8 Radial	179.0	60.2	16.9
14.9R34	Dyna Torque Radial	179.7	59.8	15.2
385/85R34MPT	Dyna Torque Radial	179.7	59.8	15.2
18.4R30	Super Traction Radial	182.0	60.8	19.2
520/70R30	DT810 Radial	182.2	61.0	20.3
13.6R38	Super Traction Radial	183.4	61.3	13.8
18.4R30	DT710 Radial	183.4	61.2	19.4
540/65R34	DT818 Radial	185.0	61.7	20.9
16.9R34	Super Traction Radial	185.7	62.0	17.6
420/85R34	Super Traction Radial	185.7	62.0	16.6
540/65R34	DT820 Radial	185.9	62.1	20.8
290/90R42	DT800 Radial	186.7	61.9	11.4
320/80R42	DT800 Radial	186.8	61.9	12.6
480/70R34	DT810 Radial	186.8	62.2	19.2
380/80R38	DT800 Radial	187.1	62.2	15.0
620/75R26	DT820 Radial	187.8	62.8	23.9
600/70R30	DT820 Radial	188.1	63.1	24.1
28LR26	Super Traction Radial	189.3	63.3	28.3
480/85R30	Special Sure Grip TD8 Radial	189.5	63.9	18.9
750/65R26	DT820 Radial	190.4	64.4	30.1
18.4R34	Super Traction Radial	193.8	64.8	19.2
18.4R34	DT710 Radial	195.8	65.2	19.4
540/75R34	DT824 Radial	196.6	65.7	21.7
480/85R34	UltraTorque Radial	196.8	65.6	18.9
320/90R42	DT800 Radial	196.9	65.4	12.6
480/85R34	VersaTorque Radial	197.1	65.7	19.5
16.9R38	Super Traction Radial	197.3	66.0	17.6
540/65R38	DT820 Radial	198.4	66.1	21.0
16.9R38	DT710 Radial	200.1	66.5	18.1
620/75R30	DT822 Radial	200.4	67.3	23.4
18.4R38	Super Traction Radial	205.2	68.7	19.2

TAMAÑO	DISEÑO	ROLLING CIRC. (IN)	OVERALL DIAMETRO (IN)	OVERALL WIDTH (IN)
320/90R46	DT800 Radial	206.8	68.6	12.6
250/95R50	DT800 Radial	207.0	68.5	9.9
480/80R38	UltraTorque Radial	207.0	68.9	18.9
18.4R38	Dyna Torque Radial	207.6	69.1	19.0
18.4R38	DT710 Radial	208.1	69.2	19.4
24.5R32	Dyna Torque Radial	211.9	70.9	24.9
18.4R38	Special Sure Grip TD8 Radial	212.4	71.2	18.4
320/90R46	Special Sure Grip TD8 Radial	213.0	70.8	12.6
340/85R46	Special Sure Grip TD8 Radial	213.0	70.8	13.6
650/75R32	DT820 Radial	213.4	71.4	24.2
800/65R32	Super Traction Radial	213.5	71.5	30.1
30.5LR32	Dyna Torque Radial	213.6	71.5	29.8
900/55R32	DT830 Radial	215.2	72.3	34.4
20.8R38	Super Traction Radial	215.7	72.2	21.6
580/70R38	DT810 Radial	216.4	72.2	23.1
14.9R46	Dyna Torque Radial	216.5	71.8	15.2
380/85R46	Dyna Torque Radial	216.5	71.8	15.2
18.4R42	Super Traction Radial	216.8	72.1	18.4
20.8R38	Dyna Torque Radial	216.8	72.2	21.2
650/75R34	DT820 Radial	217.0	72.6	26.8
20.8R38	DT710 Radial	217.4	72.4	21.4
420/80R46	Dyna Torque Radial	218.4	72.5	16.5
420/80R46	UltraTorque Radial	218.4	72.5	16.5
250/95R54	DT800 Radial	218.6	72.3	9.9
380/90R46	UltraTorque Radial	218.6	72.5	15.0
520/85R38	UltraTorque Radial	218.6	72.8	20.3
320/90R50	DT800 Radial	219.0	72.6	12.6
380/90R46	DT800 Radial	219.0	72.7	15.0
480/80R42	UltraTorque Radial	219.0	72.8	18.9
18.4R42	Dyna Torque Radial	220.5	73.3	18.7
20.8R38	Special Sure Grip TD8 Radial	221.7	74.5	21.7
18.4R42	Special Sure Grip TD8 Radial	224.6	75.0	18.4
900/60R32	DT830 Radial	226.2	76.1	34.3
650/65R42	DT820 Radial	226.3	75.3	25.4
20.8R42	Super Traction Radial	227.6	76.2	21.6
710/70R38	DT820 Radial	227.6	76.0	28.0
20.8R42	Dyna Torque Radial	229.1	76.2	21.2
900/50R42	DT830 Radial	229.7	76.6	34.9
20.8R42	DT710 Radial	229.8	76.4	21.4
380/90R50	DT800 Radial	230.0	76.3	15.0
480/80R46	UltraTorque Radial	230.0	76.4	18.9
520/85R42	UltraTorque Radial	230.0	76.5	20.3
710/70R38	DT720 Radial	230.0	76.6	28.6
480/80R46	Super Traction Radial	230.2	76.5	18.9
320/90R54	DT800 Radial	230.3	76.2	12.6
620/70R42	DT820 Radial	230.3	76.7	24.6
18.4R46	Dyna Torque Radial	232.2	77.1	19.0
20.8R42	Special Sure Grip TD8 Radial	233.5	78.2	20.8
18.4R46	Special Sure Grip TD8 Radial	233.7	77.9	18.4
900/65R32	Special Sure Grip TD8 Radial	236.6	80.8	34.9
650/85R38	DT820 Radial	241.1	80.7	25.6
800/70R38	DT820 Radial	242.0	81.1	31.4
520/85R46	Super Traction Radial	242.1	80.6	21.3
620/70R46	DT820 Radial	242.5	80.7	24.6
380/90R54	DT800 Radial	242.7	80.4	15.0
480/80R50	Super Traction Radial	243.0	80.7	19.0
710/70R42	DT820 Radial	243.1	81.1	28.2

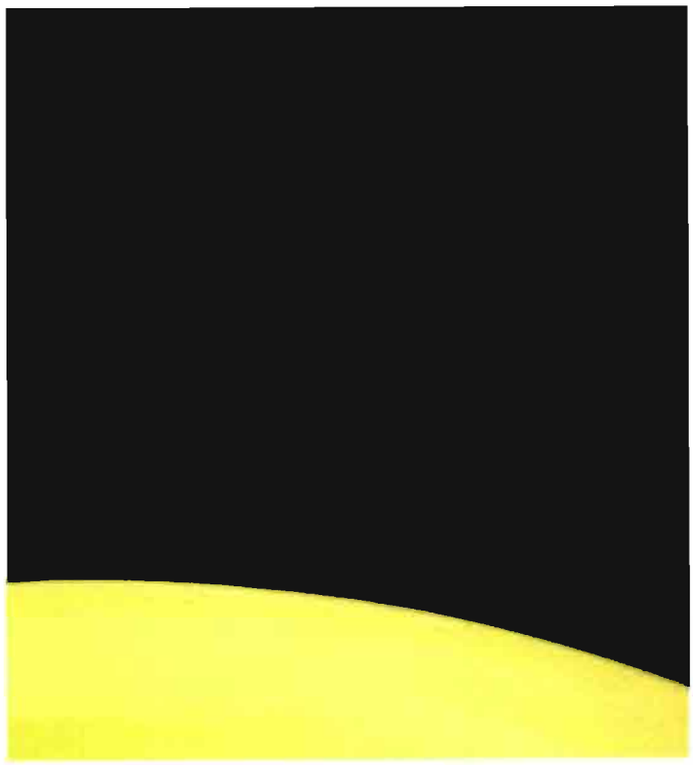


TABLA 3

GOODYEAR FAMILIES OF RADIAL FARM TIRES

TREAD TYPES R-1 AND R-1W ONLY

	Front:	20	22	24	26	28	32		FLOTATION		
	Rear:		20	22		26	30	32	FLOTATION		
RCI	Approx. O.D.	Tire Section Width (inches [mm])									
		11.2 (290) & Smaller	12.4 (320)	13.6 (345)	14.9 (380)	16.9 (430)	18.4 (480)	20.8 (530)	23.1 (600)	26.5 (710)	30.5 (770) & Larger
50	90										
49	85										
48	81		320/105R54		380/90R54		480/80R50	520/85R46	650/85R38 620/70R46	710/70R42	800/70R38
47	77		320/90R54		380/90R50		18.4R46 480/80R46	20.8R42 520/85R42	620/70R42 650/75R38 650/65R42*	710/70R38	900/50R42 900/65R32
46	73	250/95R54	320/90R50		14.9R46 380/85R46 380/90R46	420/80R46	18.4R42 480/80R42	20.8R38 520/85R38	650/75R34 580/70R38		800/65R32 900/60R32
45	70	250/95R50	320/90R46	340/85R46			18.4R38 480/80R38	20.8R34	600/65R38		
44	66		320/90R42			16.9R38	18.4R34 480/85R34	540/65R38	620/75R30		
43	63	290/90R42	320/80R42	13.6R38	380/80R38	420/85R34 16.9R34	480/70R34 18.4R30	540/65R34	620/75R26 600/70R30		750/65R26
42	59	290/90R38	320/85R38		14.9R34 380/85R34 385/85R34	16.9R30 420/90R30	480/70R30		600/65R28		
41	56	250/90R38 290/95R34	320/85R34		14.9R30 380/85R30	16.9R28 420/85R28	480/70R28 18.4R26 440/80R28				
40	53	250/95R34			14.9R28 380/85R28	420/70R28 16.9R26					
39	51			13.6R28	14.9R24 DT710						
38	48			13.6R24	14.9R24 STR	420/70R24					
37	46		12.4R24								
36	43		320/75R24								
35	41										
34	39	11.2R20									
33	37	260/80R20									

*Differs significantly from an integer RCI
RCI = Rolling Circumference Index - Indicates family of tires with similar rolling circumferences.
All sizes in a row are approximately the same outside diameter.
All sizes in the same column are approximately the same width.

Cambiar un juego por otro que mantenga la diferencia de valores de RCI pero con el que el tractor se aumente mucho la velocidad máxima no es admisible (lo sería desde el punto de vista del adelanto, pero no de seguridad vial).

LOS GRUPOS O FAMILIAS DE RUEDAS SEGÚN EL RCI

Como ya se ha dicho, la utilidad del RCI está en no calcular nada. La explicación anterior queda para saber lo que significa el índice.

Cada neumático tiene su circunferencia de rodadura. Neumáticos diferentes pueden tener valores próximos de la circunferencia de rodadura, sobre todo ahora que con los neumáticos radiales y con bajo perfil, hay muchas combinaciones que pueden conducir a valores muy próximos. En la Tabla 2 se presenta una parte del catálogo de Goodyear.

Para una mayor facilidad en su utilización, se pueden agrupar los neumáticos que tienen similar valor de la circunferencia de rodadura en grupos o 'familias' con igual RCI, como el que presenta Goodyear (Tabla 3) en la que, además, ha ordenado los neumáticos por anchura de balón, que también puede ser un factor de diseño, pero que en este artículo no se ha considerado.

Como los neumáticos de una misma familia o RCI tienen circunferencias de rodadura muy similares, cambiarlos manteniendo el RCI asegura mantener los parámetros de la doble tracción (adelanto y anticipo) en los valores correctos.

Observen que en la tabla, a cada grupo de RCI le asigna un diámetro aproximado. Por ejemplo, a los neumáticos correspondientes a RCI 44 les asigna un valor aproximado de diámetro de 56 pulgadas.

En la Tabla 2 se puede comprobar que estos neumáticos (320/90 R42; 16.9 R38; 18.4 R34 y 480/85 R34) tienen un valor del diámetro real en el entorno de este valor. ¿Cuál es el límite? Pues habría que hacer la comprobación del intervalo de variación admisible para que el adelanto se mantenga en los valores deseados. Creo que a estas alturas de la película, confiamos plenamente en los estudios que se han hecho.

APLICACIÓN PRÁCTICA

Supongamos un tractor que equipa el siguiente juego de neumáticos:

Delantero: 420/70 R28
Trasero: 480/80 R38

Según la documentación de Goodyear los valores de la RC y del RCI de cada neumático son los que aparecen en la Tabla 4.

Con los valores reales de circunferencia de rodadura y suponiendo una relación mecánica de 1.32 resultan unos valores de adelanto y anticipo de:

$a = 1.32/(5097.78/4030.98) = 1.045$ $A = 4.5\%$

Con los valores de circunferencia de rodadura correspondientes al grupo de RCI a la que pertenecen:

$a = 1.32/(5270/4055) = 1.016$ $A = 1.7\%$

En ambos casos, el parámetro está en el intervalo 1-5 %. Si se cambia el juego de neumáticos por una pareja de neumáticos más anchos, que manten-

Tabla 4

Neumático	RC in (mm)	Diám. in (mm)	RCI	RC (RCI) mm
420/70R28	158,7(4030,98)	52,9 (1343,66)	40	4055
480/80R38	200,7(5097,78)	68,9 (1750,06)	45	5270

Tabla 5

Neumático	RC in (mm)	Diám. in (mm)	RCI	RC (RCI) mm
480/70R28	167,9(4264,66)	56,1 (1424,94)	41	4275
480/80R42	219 (5562,60)	72,8 (1849,12)	46	5550

gan la diferencia de 5 puntos en el RCI (43-38 = 5), se tiene:

Delantero: 480/70R28
Trasero: 480/80R42

Según la documentación de Goodyear los valores de la RC y del RCI de cada neumático son los que aparecen en la Tabla 5.

Con los valores reales de circunferencia de rodadura y suponiendo una relación mecánica de 1.33 resultan unos valores de adelanto y anticipo de:

a = 1.33/(5562.60/4264.66) = 1.019 A = 1.9%

Con los valores de circunferencia de rodadura correspondientes al grupo de RCI a la que pertenecen:

a = 1.33/(5550/4275) = 1.024 A = 2.4%

Como es natural, todos estos cálculos están incluidos para justificar lo que en la práctica pretende el índice, que es simplemente comprobar en la tabla que en el nuevo juego la diferencia entre los RCI se mantiene en los 5 puntos anteriores (46-41 = 5)

Otra pequeña observación. El problema de la terminología puede, a veces, resultar más molesto de lo que parece. Es posible que hayan visto artículos o documentación técnica acerca de los parámetros de la doble tracción en la que la relación entre las vueltas del eje delantero respecto al trasero se llama Relación Cinemática. Ningún problema al respecto. Es una designación correcta, desde mi punto de vista. Sin embargo, en este artículo se le ha llamado 'Relación Mecánica, RM'.

El motivo es por terminología. Si se le llama 'Relación Cinemática' la tentación es identificarla como RC, siglas que ya están muy arraigadas para la Circunferencia de Rodadura, RC. Como además se usa (y se espera usar más) el RCI y lo ponemos en el flanco del neumático, resulta más conveniente usar RM para la relación entre ejes. No es importante, pero es una propuesta para no complicar las cosas mas de lo necesario.

AGRADECIMIENTO

La primera vez que tuve noticia de este índice fue a través de una revista on line que existe en la dirección de Goodyear en Internet (www.goodyear.com). La revista se llama *Working tires* y en el número de invierno de 1999 venía un artículo titulado "Mantenga las ruedas dentro de la misma familia" *(Keep four MFWD tractor tires all in the family)* en la que explicaba el concepto y la utilidad del RCI, parámetro desarrollado por esta empresa.

Posteriormente, en su manual de neumáticos *(handbook of tires)*, que se puede conseguir también en la red, ya agrupa los neumáticos por su RCI.

> ***Los estudios teóricos permiten desarrollar herramientas prácticas que facilitan el trabajo de cada día***

Quedaba el asunto del significado del índice. Una nueva búsqueda en la Red permitió encontrar una norma de SAE (Sociedad de Ingenieros de Automoción) en la que aparece la norma SAE J2523, que parece que se refiere exactamente a la agrupación de neumáticos de ruedas motrices por su RCI (digo que parece porque todavía no la he recibido).

La visión del índice físicamente en el flanco del neumático en Zaragoza provocó lo normal en estas ocasiones: la llamada de ayuda a la propia empresa. En este sentido, tengo que manifestar que los técnicos de Goodyear en España han correspondido como el 7º de Caballería. Raúl Simarro y José María Trujillo me han proporcionado la fórmula famosa del índice y han permitido que podamos cumplir nuestra obligación de informarnos y tener a los lectores de agrotécnica, y a nuestros alumnos, informados de las novedades que aparecen en este sector.

El hecho de que se haga una norma, de que aparezca ya el índice en los costados del neumático y de que los catálogos de neumáticos lo incluyan refuerza la idea de que será un parámetro útil y que, de una manera sencilla, puede ayudar en la toma de decisiones a la hora de cambiar los neumáticos de los tractores.

Una última observación. Si alguien tiene la tentación, una vez leído este artículo, de reunir la información que en él se contiene, ya se ha dicho que en la página de Goodyear América, pueden 'bajarse' el manual de neumáticos y que el artículo donde se incluía, por primera vez, creo, de este índice, está en la revista virtual *Working tires* que esta misma compañía tenía, pero que parece que ha desaparecido de su página web. Sin embargo, hay una forma de conseguirlo, a través de los recursos que ofrece Internet. Si utilizan un buscador y le dan la orden de búsqueda *rolling circumference index* (las comillas son para que busque exactamente esa frase y no los miles de páginas que encontraría con cada una de las tres palabras independientes y ¡ojo!, *circumference* es con m) aparecerán 4 ó 5 referencias, y una de ellas es el artículo de *Working tires*. De nada. Los agradecimientos, a Goodyear.

CONCLUSIONES

- Las matemáticas sirven para mucho: no son solo un obstáculo para los que quieren estudiar ingeniería.
- Los estudios teóricos permiten desarrollar herramientas prácticas y sencillas que facilitan el trabajo diario.
- Las empresas que innovan marcan un camino que todos los demás siguen a la carrera.■