



Curso de Maquinaria Agrícola

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

Capítulo 05.-

Equipos para el aporte de fertilizantes

**Prof. Luis Márquez
Dr. Ing. Agrónomo**



Curso de Maquinaria Agrícola

Equipos para aporte de fertilizantes

Calibración y ensayo de las abonadoras

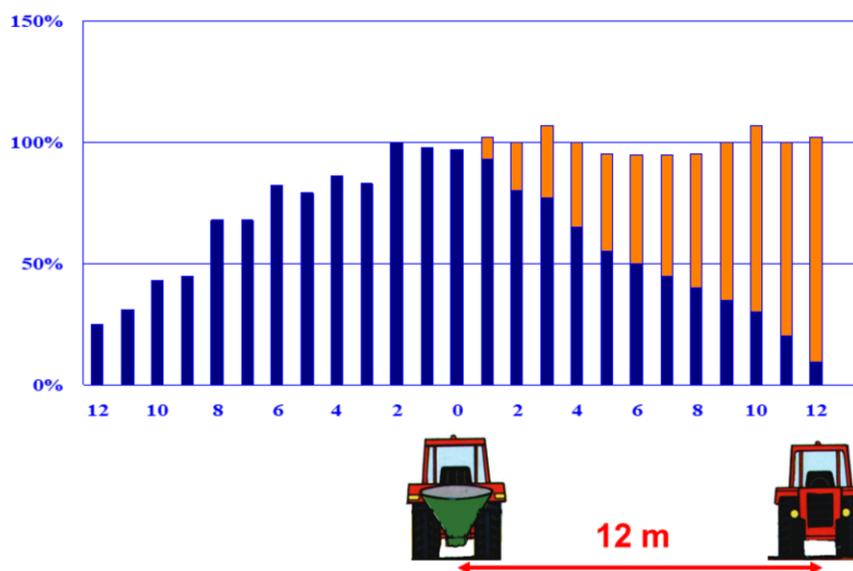
Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

El correcto funcionamiento de las abonadoras por proyección está condicionado por una buena calibración, especialmente en lo que respecta a la anchura de trabajo.



Histograma de distribución

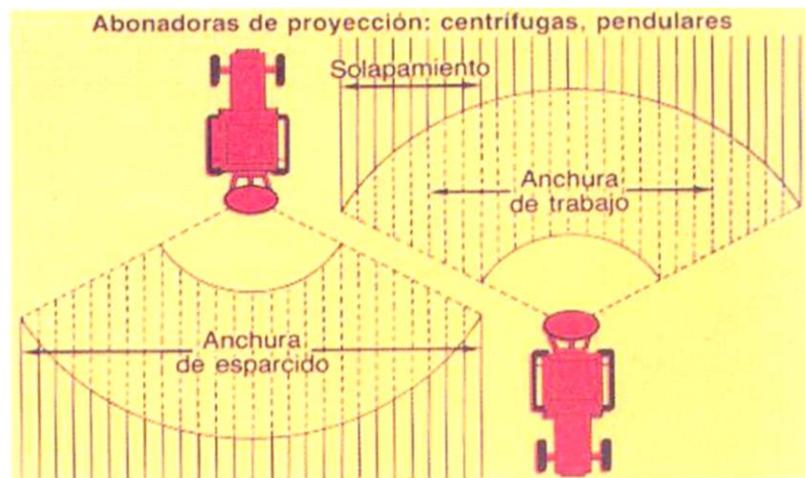
Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



Con un perfil de distribución triangular se puede hacer un solapamiento limitando la anchura de trabajo a la mitad de la anchura de proyección



Anchura de trabajo

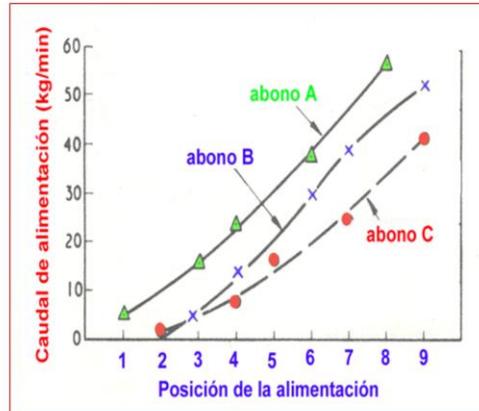
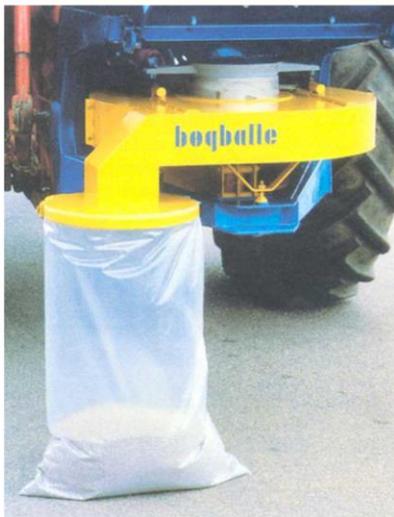


La uniformidad de distribución se consigue normalmente con anchuras de trabajo entre la mitad y dos tercios de la anchura de proyección



Caudal que sale de la tolva

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



Se recomienda realizar una calibración para establecer la anchura de trabajo para el tipo de abono que se utiliza.

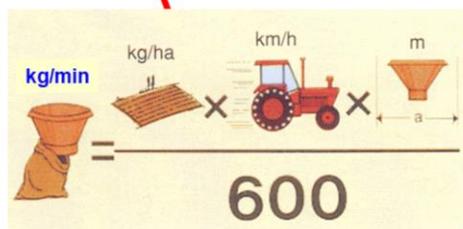
Se necesita conocer el caudal de abono que sale de la tolva en función de la posición del mecanismo que controla las aberturas de la tolva.

Para la misma sección de salida, el caudal entregado (kg/min) depende del tipo de abono utilizado.



Prueba en el campo (caudal y anchura de trabajo)

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



El cálculo de la anchura de trabajo se realiza a partir de la distribución obtenida con el tipo de abono en las condiciones de campo.

Las cajas de recogida normalizadas son de 50 x 50 cm.

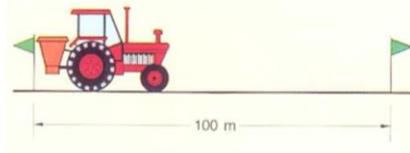
Previamente hay que determinar el caudal que sale de la tolva para la posición elegida en la alimentación.



Cálculo de la velocidad de trabajo

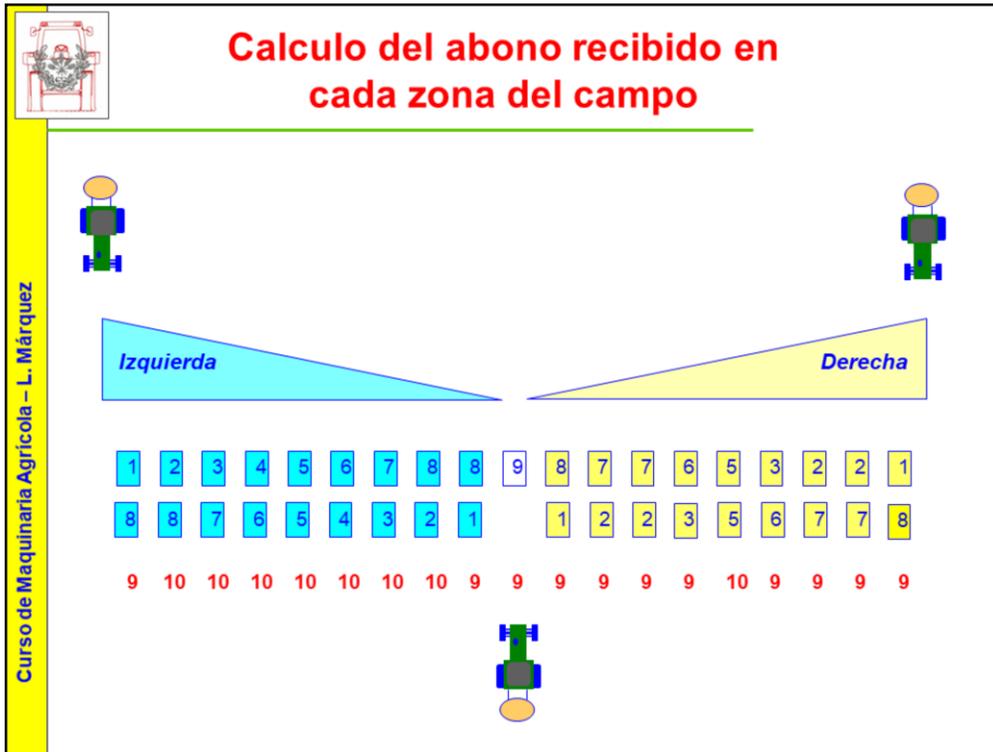
Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

	s/100 m km/h	s/100 m km/h	s/100 m km/h	s/100 m km/h			
36	10,00	49,5	7,27	63	5,71	76,5	4,71
36,5	9,86	50	7,20	63,5	5,67	77	4,68
37	9,73	50,5	7,13	64	5,63	77,5	4,65
37,5	9,60	51	7,06	64,5	5,58	78	4,62
38	9,47	51,5	6,99	65	5,54	78,5	4,59
38,5	9,35	52	6,92	65,5	5,50	79	4,56
39	9,23	52,5	6,88	66	5,45	79,5	4,53
39,5	9,11	53	6,79	66,5	5,41	80	4,50
40	9,00	53,5	6,73	67	5,37	80,5	4,47
40,5	8,89	54	6,67	67,5	5,33	81	4,44
41	8,78	54,5	6,61	68	5,29	81,5	4,42
41,5	8,67	55	6,55	68,5	5,26	82	4,39
42	8,57	55,5	6,49	69	5,22	82,5	4,36
42,5	8,47	56	6,43	69,5	5,18	83	4,34
43	8,37	56,5	6,37	70	5,14	83,5	4,31
43,5	8,28	57	6,32	70,5	5,11	84	4,29
44	8,18	57,5	6,26	71	5,07	84,5	4,26
44,5	8,09	58	6,21	71,5	5,03	85	4,24
45	8,00	58,5	6,15	72	5,00	85,5	4,21
45,5	7,91	59	6,10	72,5	4,97	86	4,19
46	7,83	59,5	6,05	73	4,93	86,5	4,16
46,5	7,74	60	6,00	73,5	4,90	87	4,14
47	7,66	60,5	5,95	74	4,86	87,5	4,11
47,5	7,58	61	5,90	74,5	4,83	88	4,09
48	7,50	61,5	5,85	75	4,80	88,5	4,07
48,5	7,42	62	5,81	75,5	4,77	89	4,04
49	7,35	62,5	5,76	76	4,74	89,5	4,02
						90	4,00



$$\text{velocidad [km/h]} = \frac{\text{distancia [m]} \times 3.6}{\text{tiempo [s]}}$$

La velocidad de trabajo real se puede calcular midiendo el tiempo transcurrido para recorrer una distancia determinada.

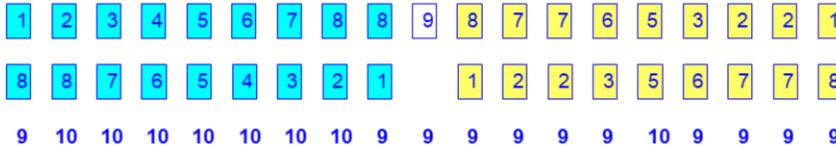


Cuando se realiza la pasada contigua, la cantidad de abono recibido en cada zona del campo se suma al de la pasada anterior.



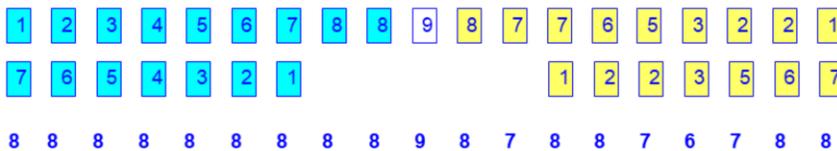
Con diferente solapamiento

A) Anchura de trabajo: 10 m



CV: 5.24%

A) Anchura de trabajo: 12 m



CV: 7.87%

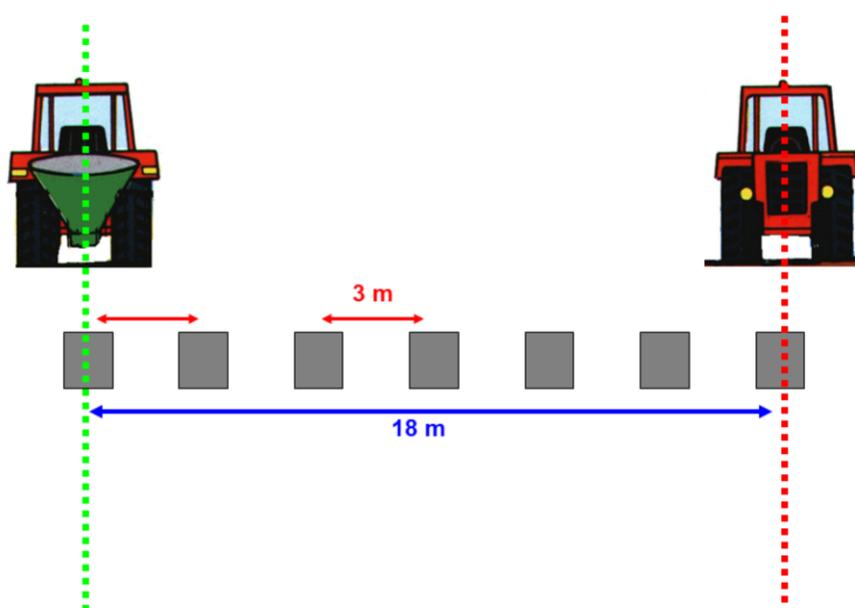
En función del grado de solapamiento las cantidades totales recibidas en cada zona del campo varían, y esto se valora calculando el coeficiente de variación (CV) que es el porcentaje de la desviación media con respecto a la media de abono esparcido.

Más adelante se indica como se calcula el CV.



Cajas receptoras para calcular la anchura de trabajo

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



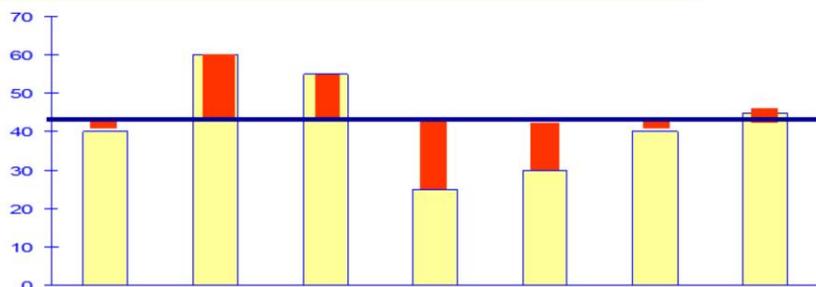
Colocación de cajas en campo para un ensayo de comprobación.

En un calibración de campo no es necesario situar cajas de recogida sobre toda la anchura de proyección.



Cálculo del Coeficiente de Variación CV

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



$$\text{MEDIA: } \frac{40 + 60 + 55 + 25 + 30 + 40 + 45}{7} = 42.1$$

$$\text{DESVIACIÓN ACUMULADA: } = 67.1$$

$$\text{DESVIACIÓN MEDIA: } \frac{67.1}{7} = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} = s = 9.6$$

$$\text{CV (\%): } \frac{\text{DESVIACIÓN MEDIA}}{\text{MEDIA}} \times 100 = \frac{9.6}{42.1} \times 100 = 22.8$$

Método de cálculo del coeficiente de variación.



Laboratorios de ensayo (EN 13739; ISO 5690/1; UNE 68088)

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



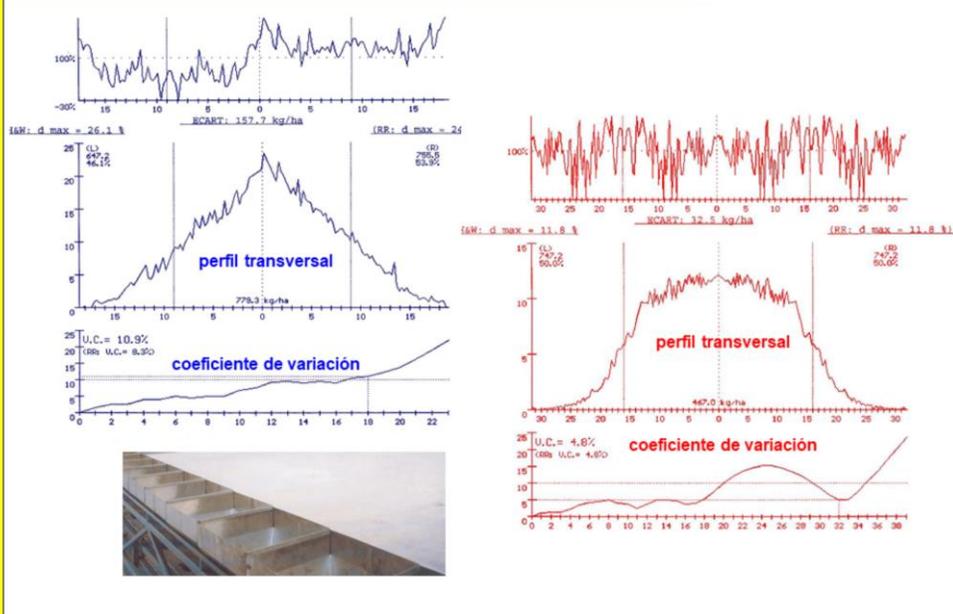
No se puede mostrar la imagen en este momento.

En los ensayos de laboratorio se utiliza como referencia la norma ISO 5690/1, con cajas de recogida de 50 x 50 cm o de 100 x 25 cm.



Diagramas de distribución transversal

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



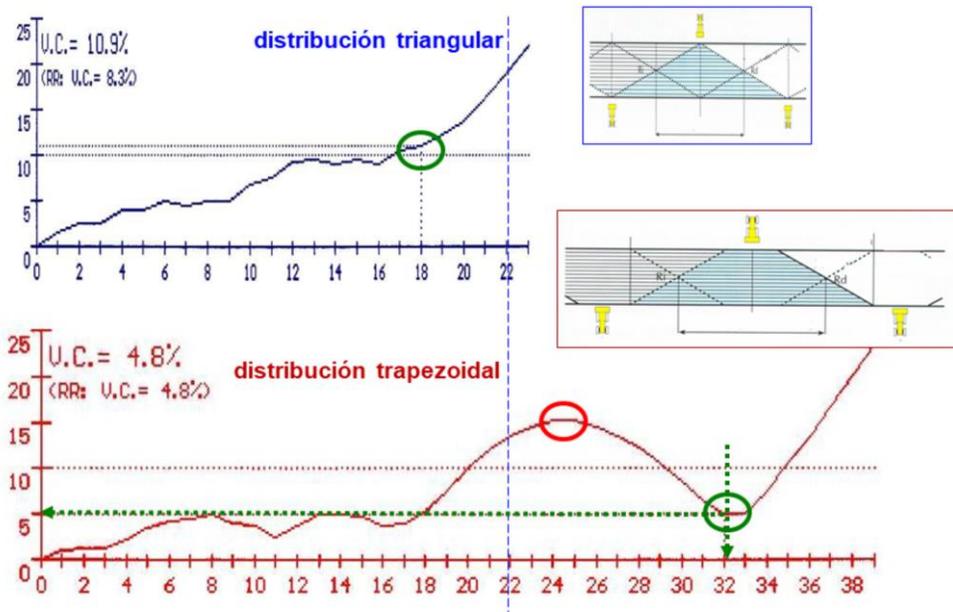
Diagramas de distribución transversal de una abonadora de proyección de doble disco obtenido en laboratorio (ensayo realizado conforme a la norma ISO).

En el primer caso se ha regulado la máquina para conseguir una distribución triangular con 18 m de anchura de trabajo. En el segundo caso se ha regulado la máquina para conseguir una distribución trapezoidal con anchura de trabajo de 32 m.



Coeficientes de variación

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



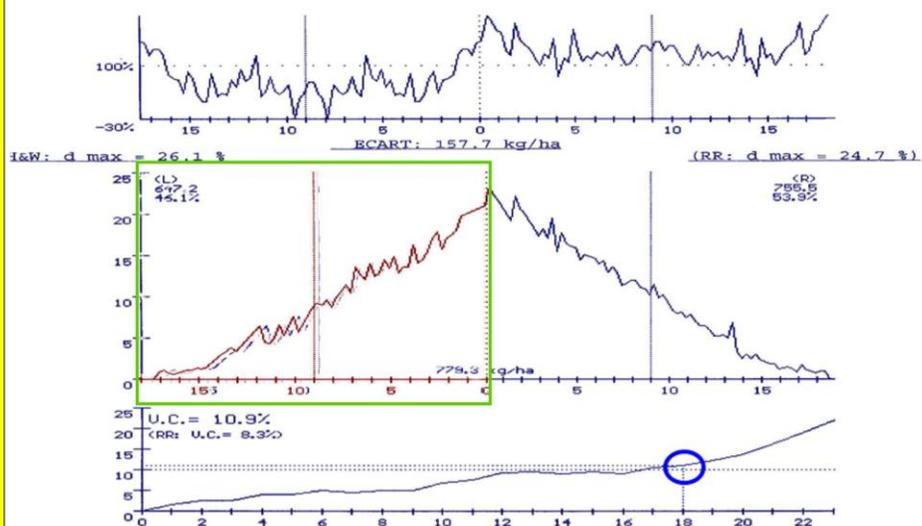
En el caso de la distribución trapezoidal la variación entre pasadas contiguas puede afectar considerablemente la uniformidad de la distribución. Así para 24 m de anchura de trabajo con esta regulación de la abonadora el CV pasa a ser mayor del 15%, frente al 5% obtenido para 32 m de anchura efectiva.

Se considera que el CV para la aplicación de fertilizantes nitrogenados debe ser menor del 10%. En abonado de fondo se admiten CV de hasta el 30%.



Distribución triangular

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

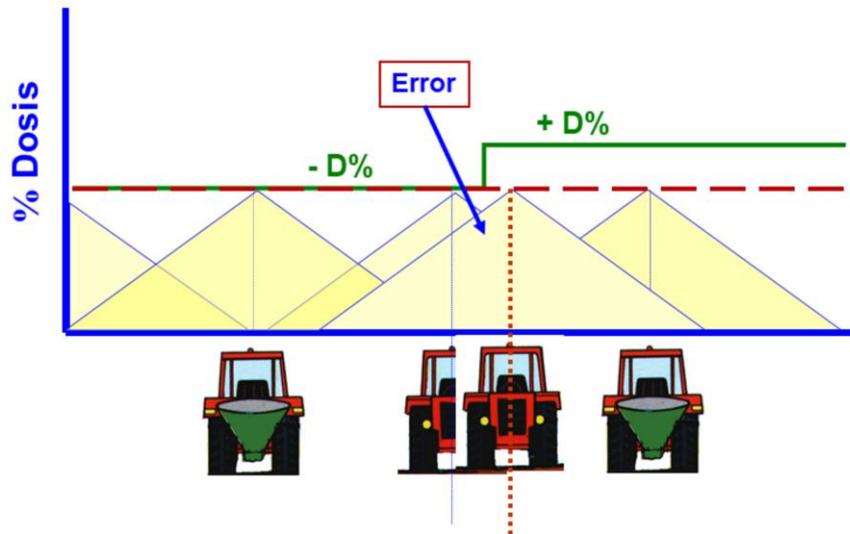


Solapamiento en la distribución triangular.



Error en la anchura de trabajo (distribución triangular)

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

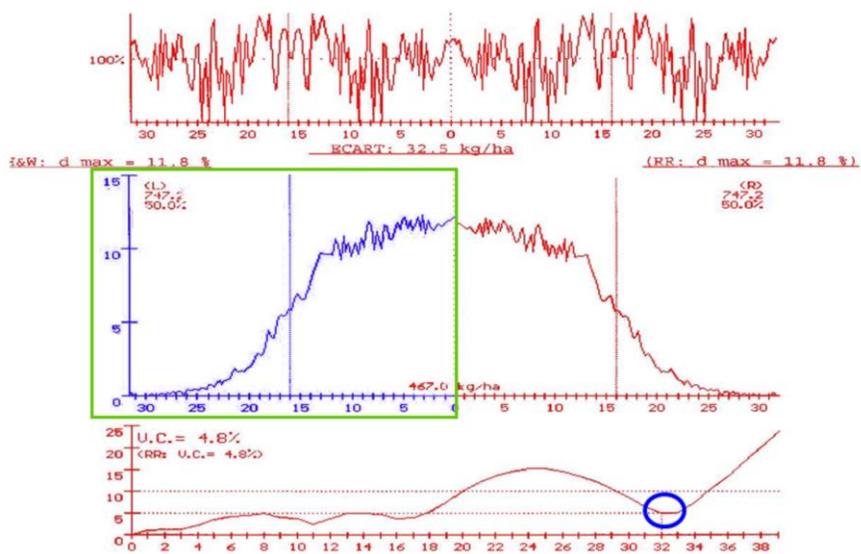


La distribución triangular permite amortiguar errores en la distancia entre pasadas.



Distribución trapezoidal

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

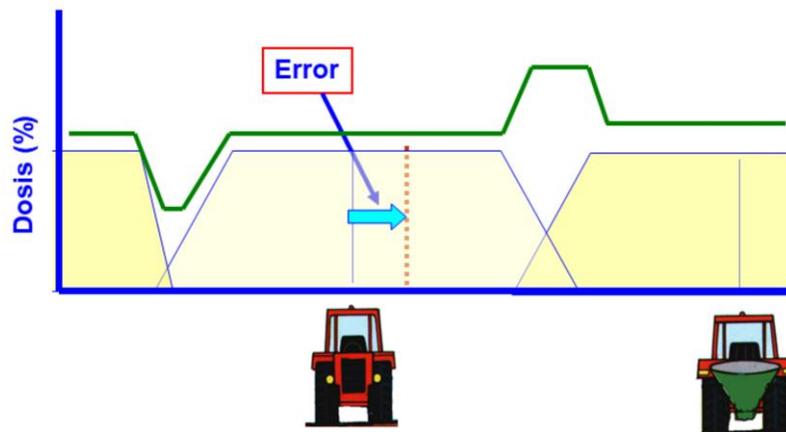


Solapamiento en la distribución trapezoidal.



Error en la anchura de trabajo (distribución trapezoidal)

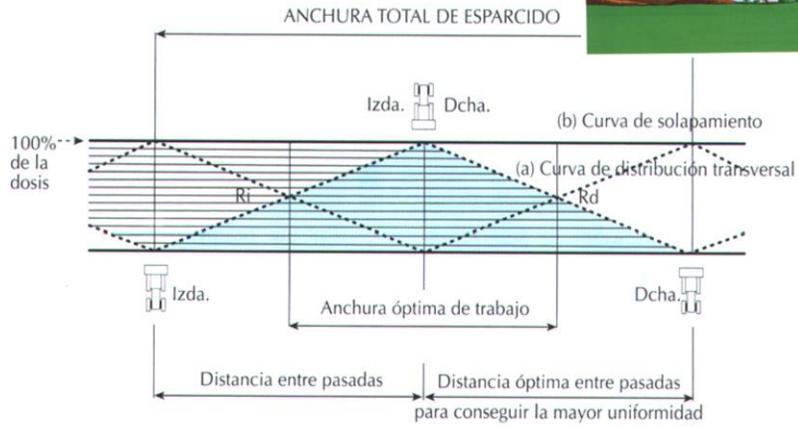
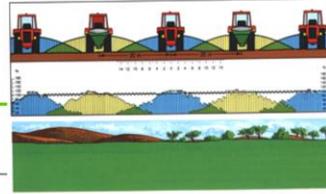
Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



El mismo error en la distancia entre pasadas con distribuciones trapezoidales genera valores más elevados del coeficiente de variación, con la consiguiente falta de uniformidad en la distribución del abono.



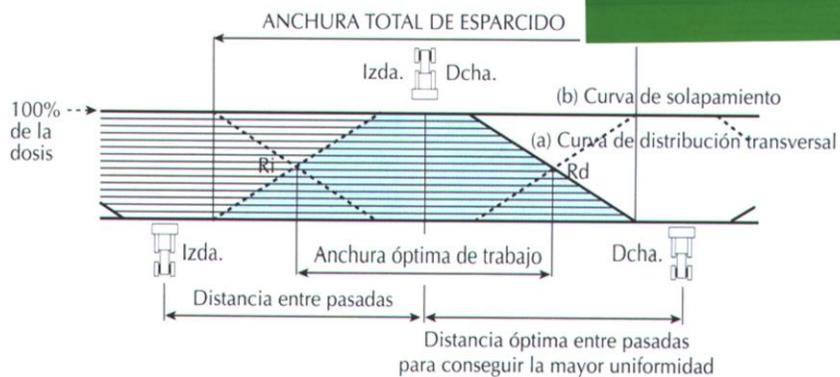
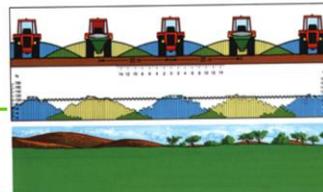
Perfiles de distribución



Triangular: permite pequeñas variaciones de la separación entre pasadas sin modificaciones en la uniformidad de distribución



Perfiles de distribución



Trapezoidal: pequeñas variaciones de la separación entre pasadas modifican considerablemente la uniformidad de distribución

Con perfiles de distribución trapezoidal se consiguen mayores anchuras de trabajo.



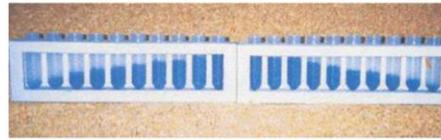
Condiciones de utilización

- Se recomienda realizar una **calibración** para establecer la anchura de trabajo para el tipo de abono que se utiliza.
- La uniformidad de distribución se consigue normalmente con anchuras de trabajo entre la mitad y dos tercios de la anchura de proyección.
- Accionamiento: toma de fuerza **540 y/o 1000 rev/min**
- **Potencia recomendada de 40 a 68 CV (30-50 kW);** velocidad de trabajo: **6.0 a 14.0 km/h;** eficiencia en parcela: **0.35 a 0.65** (se reduce en función de la dosis de abonado).



Evaluación rápida del estado de las máquinas

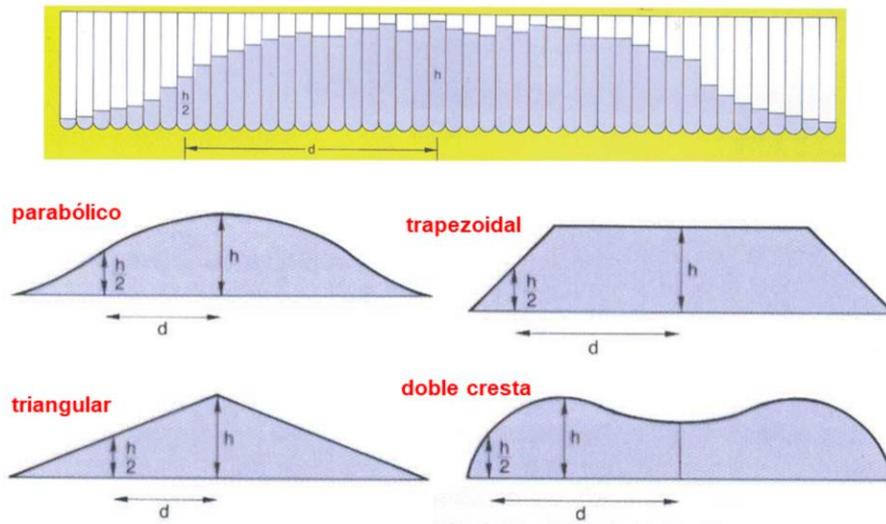
Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



La verificación del estado de una abonadora, así como su calibración en el comienzo de campaña, se puede hacer de forma rápida utilizando probetas que permitan comparar rápidamente el abono recibido en cada caja de las que cubren la anchura de esparcido.



Perfiles de distribución



Cuando los perfiles de distribución son simétricos respecto al centro de la pasada se puede calcular la anchura de trabajo determinando la distancia al centro de la caja que recibe la mitad del abono del que se recoge en la caja con mayor cantidad.

La anchura de trabajo será $2 \times d$ metros. Cuando los perfiles de distribución no son simétricos es necesario trabajar en redondo (no en recorridos de ida y vuelta).



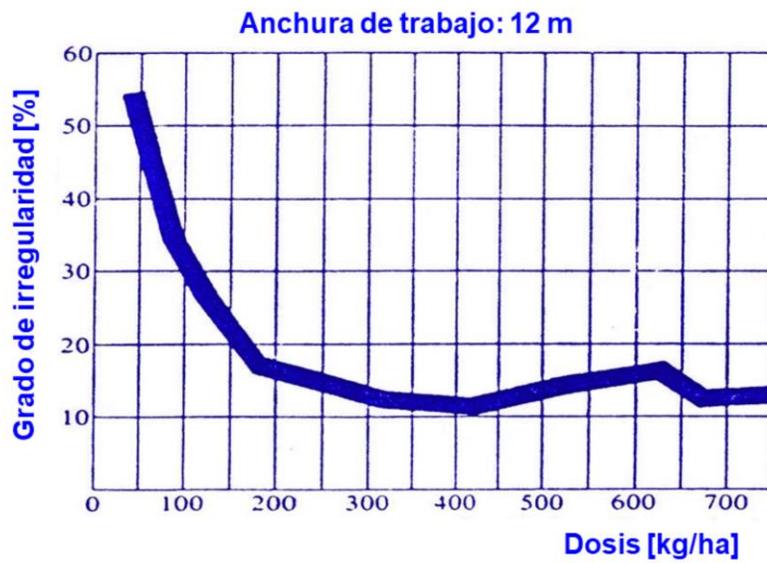
Influyen sobre la uniformidad de distribución

- **Del abono**
 - Espectro granulométrico
 - Dureza
 - Resistencia a la abrasión
 - Fluidéz
- **De la máquina**
 - Régimen de la toma de fuerza
 - Altura sobre el suelo de los elementos de proyección
 - Inclinación respecto a la horizontal
- **Del ambiente**
 - Viento
 - Pendiente

Al trabajar en condiciones reales de campo se pierde uniformidad de distribución con respecto a la obtenida en el laboratorio. En esto influye el tipo de abono, los ajustes de la máquina y las condiciones ambientales.



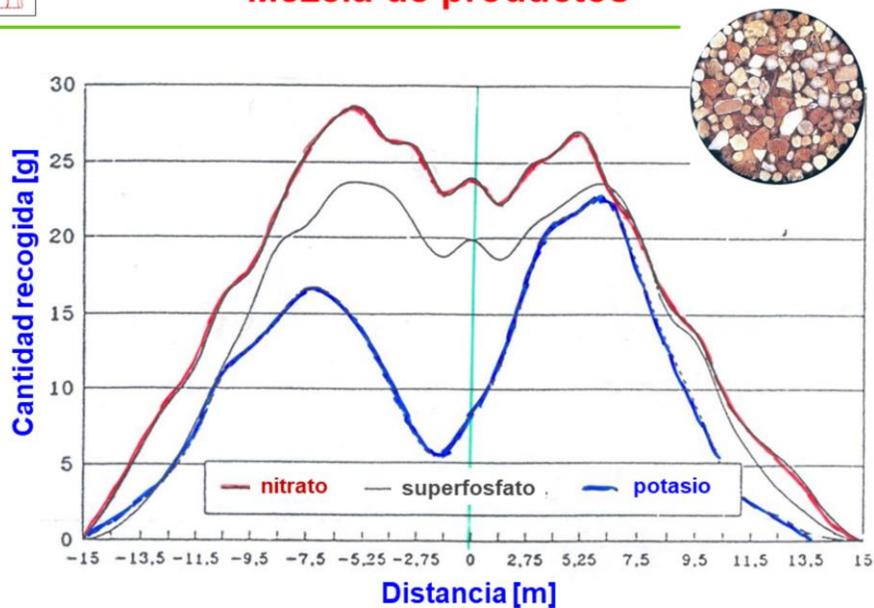
Influencia de la dosis aplicada



En muchas abonadoras la uniformidad de la distribución se reduce cuando se trabaja con dosis baja.



Mezcla de productos

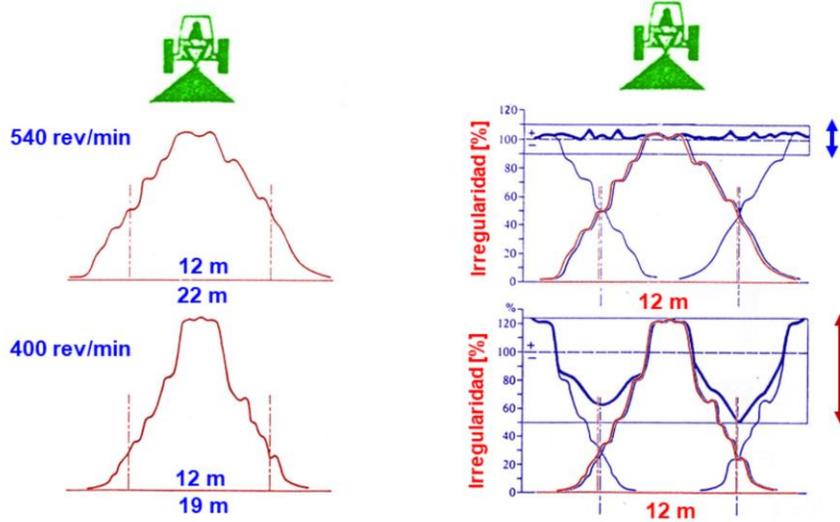


La mezclas de abono (blending) no aseguran la uniformidad en la distribución de todos los componentes. Las diferentes granulometrías de la mezcla produce perfiles de distribución diferente de los componentes.



Efecto del régimen de la TDF

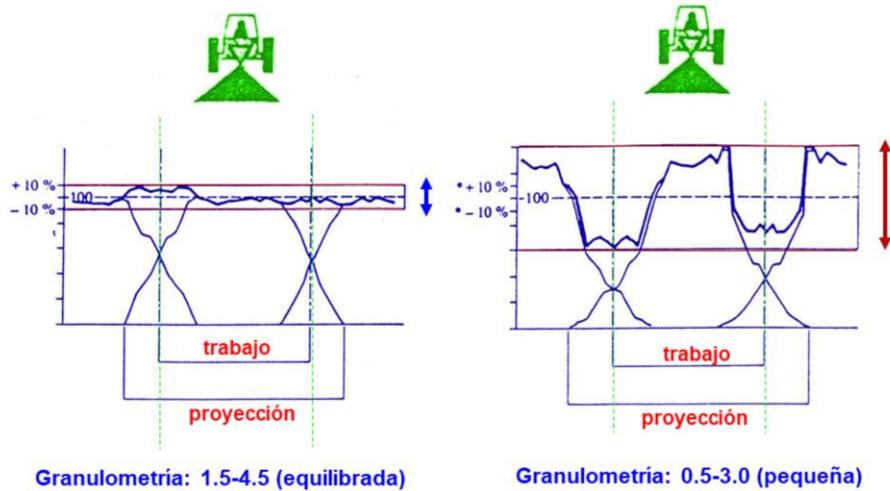
Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



Trabajar con un régimen de la toma de fuerza inferior produce la reducción de la anchura de proyección y esto obligaría a trabajar con menor distancia entre pasadas.



Influencia de la granulometría del abono

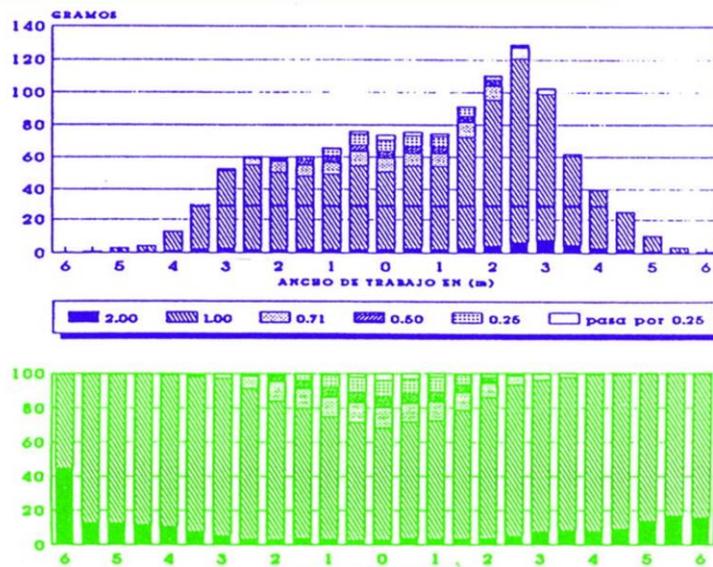


Cuando el abono dispone de gránulos de pequeño diámetro la anchura de proyección se reduce y con ello la anchura efectiva de trabajo.



Influencia de la granulometría del abono

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



En las cajas centrales se recogen los gránulos de menor tamaño, y los gránulos gruesos son los que llegan a las zonas más alejadas del centro.



Sensibilidad a las regulaciones

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

	Abonadora A	Abonadora B	Abonadora C
Cambiar abono	↑-----↓-----↑	-----↑-----	↑---↓---↓---↑
Tercer punto largo	↑-↓-----↓-↑	--↓---↑---↓--	-----
Mas inclinada	↑---↓ ↓ ↓---↑	-----↑-----	-----↑-----
Tercer punto corto	---↑-----↑---	-----↑-----	-----
Abonadora baja	-----↑-----	--↓---↑---↓--	-----

Estos resultados corresponden a los ensayos realizados con 3 abonadoras utilizando los mismos tipos de abono granulado.

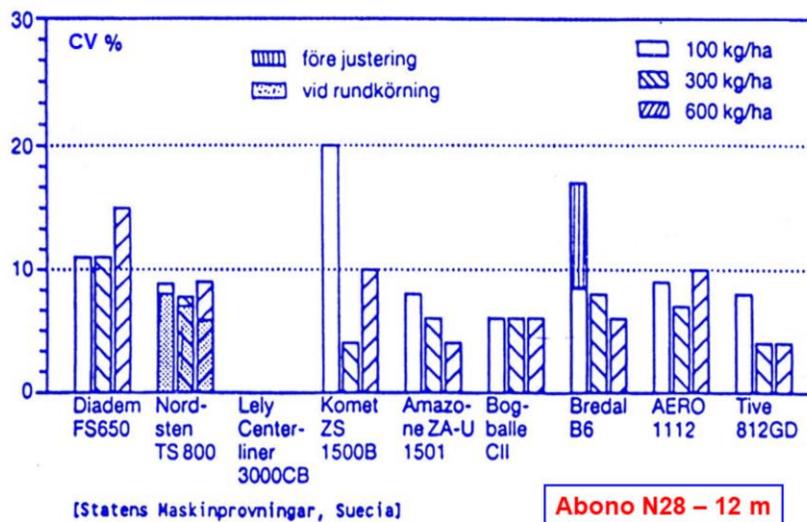
No todas las abonadoras responden de la misma forma al cambio de abono. En unas este cambio hace aumentar el contenido en la zona central, mientras que en otras sucede lo contrario. En cada caso hay que ajustar la máquina según el manual del fabricante.

Las flechas hacia arriba indican que la cantidad de abono aumenta en esa zona y la flecha hacia abajo indica que esta cantidad se reduce.



Diferencias entre marcas y modelos

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



Resultados de los ensayos de diferentes abonadoras con el mismo tipo de abono.

El coeficiente de variación (CV) depende de la dosis aplicada y de que se trabaje en redondo o en recorridos de ida y vuelta.

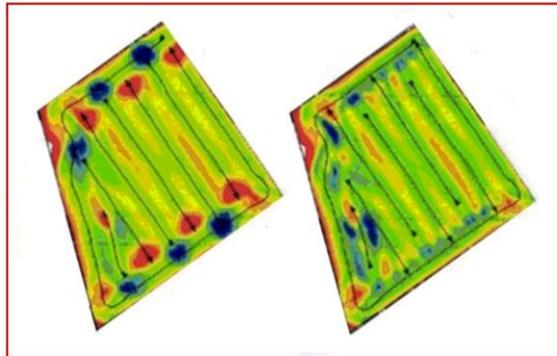
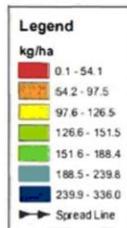


Uniformidad de distribución en la parcela

entrada/salida



*Optimización de la distribución
modificando los puntos de
apertura y cierre (Lawrence)*



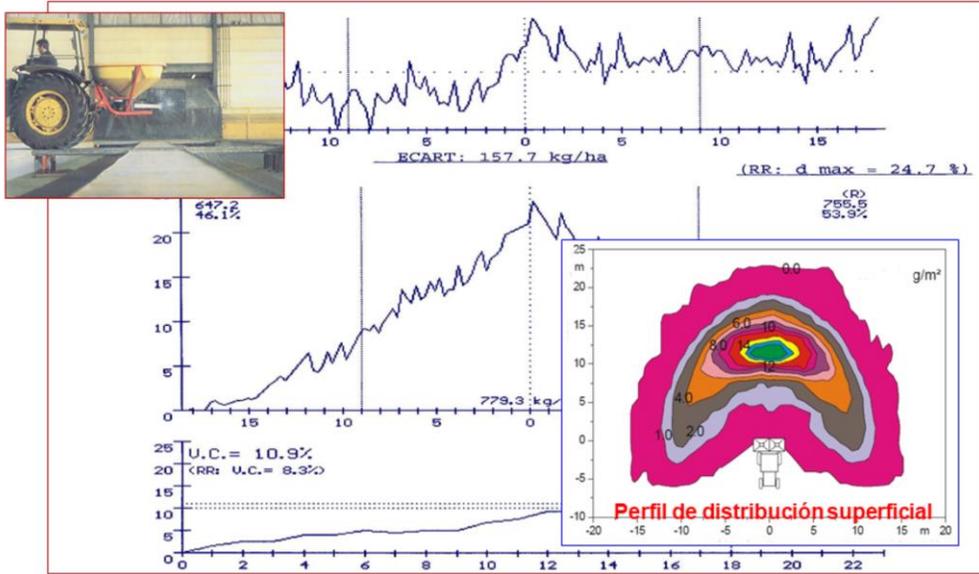
Para conseguir una distribución uniforme del abono en las parcelas hay que considerar también lo que sucede en los cabeceros y en las zonas de las parcelas en las que cambian sus dimensiones.

Esto ha obligado a estudiar alternativa a los procedimientos de ensayo convencionales, de forma que sea posible calcular el perfil de distribución superficial de la abonadora.



Abonadora centrífuga Vicon 2 discos (EN 13739; ISO 5690/1; UNE 68088)

Anchura de trabajo: 18 m; Dosis media: 157 kg/ha; CV: 10.9%

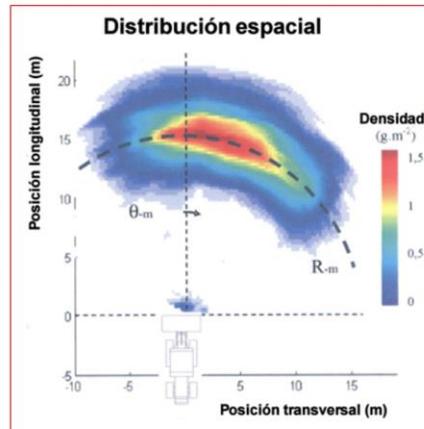
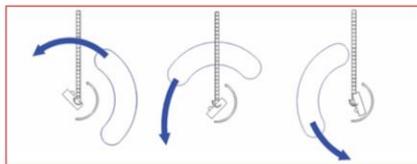


Perfiles de distribución transversal y superficial.



Banco experimental con abonadora fija con rotación durante el proceso de esparcido

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



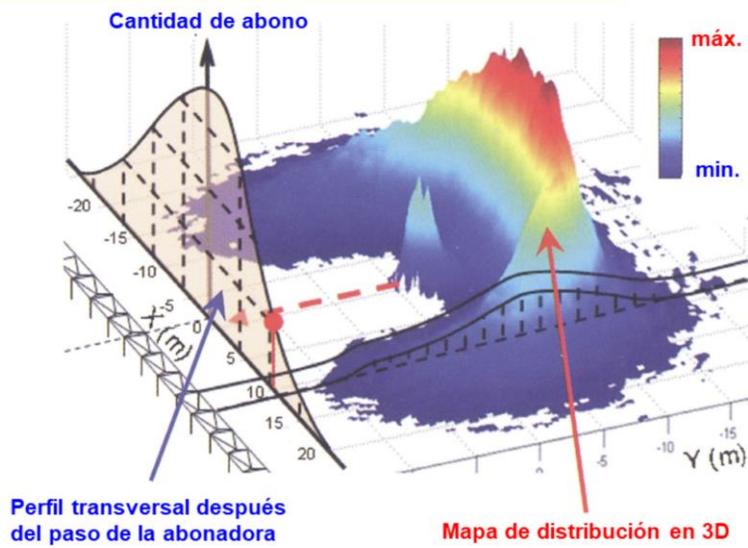
Correspondiente a un solo disco (Piron y Miclet)

En el banco de ensayos que permite determinar el perfil de distribución superficial la abonadora permanece fija y va girando alrededor de un eje vertical que pasa por los elementos de proyección.

Las cajas de recogida de 50 x 50 cm están alineadas y dotadas en el fondo de un sistema de pesada instantánea, que permite calcular la cantidad de abono recogida por unidad de tiempo cuando la abonadora hace el giro completo.



Mapa de distribución

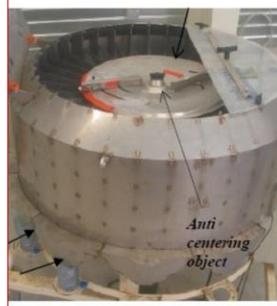
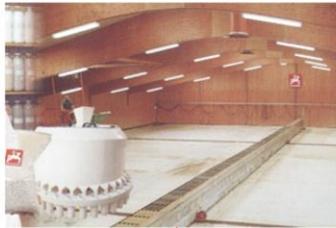


El perfil transversal de distribución del ensayo convencional se puede calcular a partir del ensayo para determinar la distribución espacial.

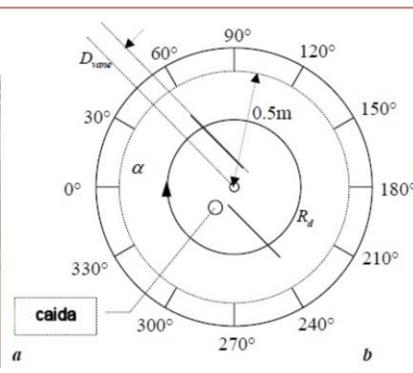


Reducción del consumo de abono en los ensayos de laboratorio

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



Laboratorio de Amazone

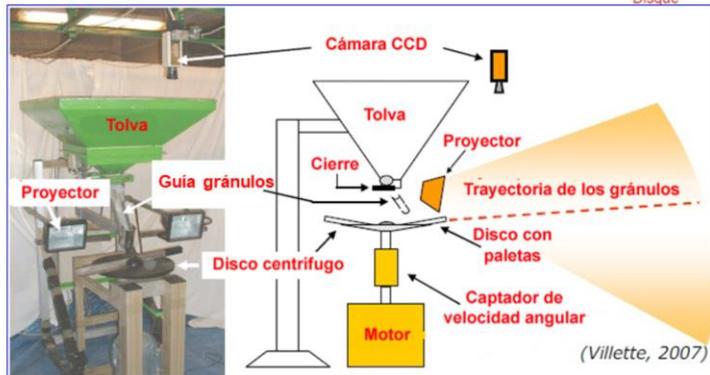


El ensayo de las abonadoras para los diferentes tipos de abono obliga a utilizar grandes cantidades de fertilizantes. Por ello los fabricantes han desarrollado sistemas que permiten establecer las regulaciones de sus equipos con menos consumo de abono.



Caracterización del flujo de partículas

Cámara numérica monocroma bajo el disco de proyección

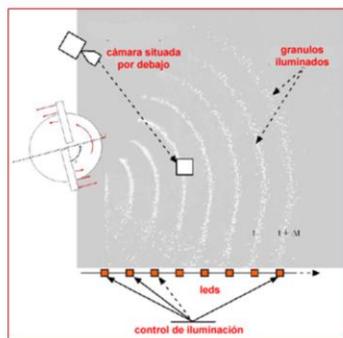


Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

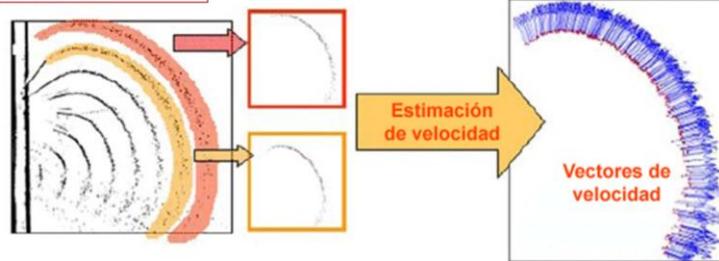
Diferentes centros de investigación trabajan en esta línea para poder simular el comportamiento de los diferentes sistemas de proyección.



Caracterización del flujo de partículas

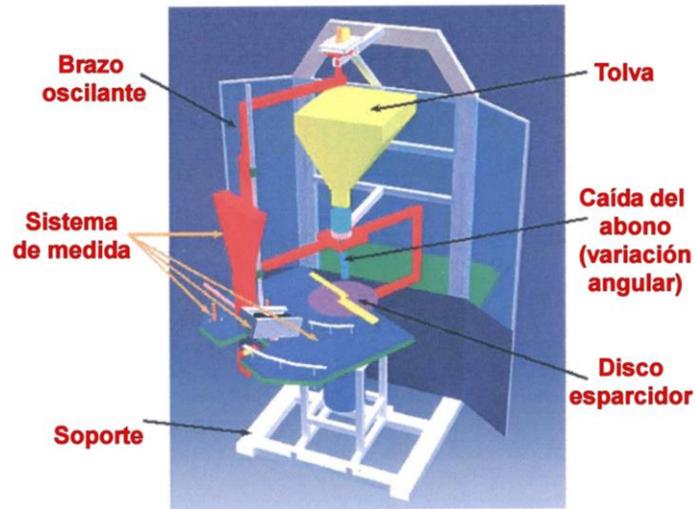


Cámara de alta resolución
asociada a un estroboscopio
(Vangeyte)





Caracterización del flujo de partículas



Plataforma MC2 con captadores ópticos;
cámara digital, medida del ángulo de salida (Miclet)



Curso de Maquinaria Agrícola

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

Equipos para aporte de fertilizantes

Calibración y ensayo de las abonadoras