



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Diseño de un sistema inteligente dosificador de semilla, basado en el uso de microcontroladores (Fase I: Evaluación de dosificadores neumáticos)

Por:

GUADALUPE SEGUNDO REYES

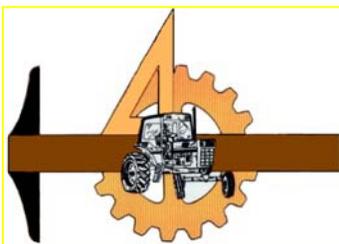
T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2004



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



Diseño de un sistema inteligente dosificador de semilla, basando en el uso de microcontroladores (Fase I: Evaluación de dosificadores neumáticos)

Por:

GUADALUPE SEGUNDO REYES

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Mayo de 2004.**

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** nuestro señor todo poderoso por darme la oportunidad de pertenecer a esta vida tan maravillosa y sobre todo ser la guía que ilumina mi camino, gracias Dios mío.

A mi **ALMA TERRA MATER** por abrirme sus puertas para culminar una etapa más en mi vida, siempre me sentiré orgullosa de ser Narro.

Al **Dr. S. Gabriel Campos Magaña** por la confianza brindada para realizar este proyecto de investigación y por compartir experiencias y conocimientos.

Al **M.C. Sergio M. Jácome Maldonado** por la confianza y por su asesoría profesional y constante para efectuar esta investigación.

Al **Dr. Martín Cadena, M.C. Héctor U. Serna** y al **Ing. Juan Arredondo** por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo.

A mis **compañeros de la generación XCVI** de la carrera de **Ingeniero Mecánico Agrícola** a quienes siempre tendré en mi corazón: *Nadia, Francisco J. Rodríguez, J. Manuel, Iván, Francisco J. Meza, I. Antonio, Eddy, Miguel A. Chán, Kenedy, J. Alfredo, J. Carlos, C. Augusto, Héctor Espejel, Héctor R. Anacleto, Miguel A. Ramírez, Miguel A. Márquez, Ángel, Orlando, Víctor, Juan José, Octavio, Jorge, Javier Cepeda (†), Dios guíe su camino en donde quiera que estén.*

A los maestros del departamento de Maquinaria Agrícola: **M.C. Juan A. Guerrero, M.C. Jesús R. Valenzuela, Ing. Ramiro Luna, Ing. Rosendo Garza, Ing. Jorge A. Flores, Dr. Aguinaldo García, M.C. Gabriel Santillán, Ing. Tomás Gaytán, Ing. Sergio B. Medellín, Ing. Blanca E. de la Peña, Ing. José J. de Valle** por sus conocimientos compartidos durante mi estancia.

A la **Lic. Dora Elia Fuentes** y a la **Sra. Amanda Hidalgo** por su apoyo y confianza que me brindaron, siempre las recordaré.

A la **Lic. Griselda Valdés Ramos** y al **Ing. Marco A. Reynolds** por las aportaciones realizadas a este trabajo de investigación.

A mis compañeras de cuarto por los buenos y malos momentos compartidos, **Judith, Nadia, Griselda, Ma. Luisa, Nely, Guendy, Lupita, Rubí y Miriam**, les deseo lo mejor hoy y siempre.

A mis amigos y amigas: **Francisco J. Rodríguez, J. Manuel, Iván, Jorge Luis Rodríguez Ehuán, Blanca L Alejandrez, Verónica Ramírez, Nadia García, David Gómez, Salvador Ordaz** por permitirme ser parte de sus vidas y por las alegrías y tristezas experimentadas, a ustedes les deseo lo mejor de la vida.

Al **COECYT** y al **INIFAP campo experimental Cotaxtla** por las facilidades otorgadas para llevar a cabo este proyecto de investigación.

Al personal del taller de Maquinaria Agrícola por la amistad brindada durante mi estancia, en especial al **Sr. Mario Amaro**, al **Sr. Efraín de la Rosa**, al **Sr. Concepción** y a **Jonhy** siempre los recordaré.

A mis **compañeras del equipo de fútbol soccer femenino** por las experiencias compartidas durante mi estancia y al **Sr. Ramón Macías** por su amistad y consejos.

DEDICATORIA

Con mucho **amor y respeto** para las personas que más amo en esta vida:

A mi mamá **Sra. Adriana Reyes Arzate** por darme la vida, por apoyarme en todos los buenos y malos momentos de mi vida y sobre todo, por los sacrificios, el apoyo y el esfuerzo moral y económico que siempre me has brindado.

A mi papá **Sr. Armando Segundo Sánchez** por el apoyo brindado y la confianza depositada en mí, gracias.

Mi triunfo es suyo.

A mi **ángel de la guarda** por estar siempre conmigo, apoyándome en cada segundo de mi vida y por estar siempre en mi mente y en mi corazón.

A mis hermanos **Araceli, Leticia, Alfredo, Sonia, Sujeidi** y muy en especial a **Carlos, César y Claudia** por haber confiado en mí y por su apoyo brindado durante mi estancia. Siempre los tendré muy presentes.

A la familia **Reyes Arzate**, en especial a mis tías **Laura y Norma**; y a mi abuelito **Ramón Reyes Monroy** por el apoyo y la confianza que siempre recibí.

A mis cuñados (das) **Juan, Iván, Reynaldo, Miguel, Laura y Blanca** por ser parte de mi familia.

A mi abuelita **Sra. Guadalupe Arzate Favila (†)** en donde quiera que se encuentre, se que siempre está a mi lado.

A todos **mis primos, tíos y tías** por haber creído en mí y la confianza que me tuvieron durante todo este tiempo.

A mis sobrinos **Yesenia, Lizeth, Citlalli, J. Armando, J. José, Jair, Amairani, Valeria, Dwith, Narian, Karina, Sahily, Daniel, J. Pablo, Miguel** por los lazos que nos unen y el cariño que les tengo.

2.6 Factores que afectan el llenado de celdas y daño en las semillas	27
--	----

III. MATERIALES Y MÉTODO

3.1 Ubicación del área de trabajo.	30
------------------------------------	----

3.2 Materiales.	31
-----------------	----

3.2.1 Variador de frecuencia.	31
-------------------------------	----

3.2.2 Motor trifásico.	31
------------------------	----

3.2.3 Sistema de aspiración.	31
------------------------------	----

3.2.4 Sensores optoelectrónicos.	32
----------------------------------	----

3.2.5 Contador digital.	33
-------------------------	----

3.2.6 Modelo y vaciado de la celda.	33
-------------------------------------	----

3.2.7 Software.	
-----------------	--

.	34
3.3 Metodología.	
.	
.	35
3.3.1 Primera Etapa: Evaluación y validación de discos dosificadores de semilla.	
.	
.	35
a. Medición de la semilla.	
.	
.	36
b. Dimensiones de las celdas.	
.	
.	36
c. Verificación de la eficiencia de los sensores.	
.	36
d. Porcentaje de las dimensiones de las celdas con respecto al tamaño promedio de las semillas.	
.	
.	37
e. Determinación del porcentaje de llenado de celdas.	
.	38
3.3.2 Segunda Etapa: Variación del diámetro de succión.	
.	39
a. Plato con 3 celdas.	
.	
.	40

b. Plato con 4 celdas.	40
3.3.3 Tercera Etapa: Remodelación de la celda.	40
a. Descripción del método para obtener el modelo de la celda.	41
b. Vaciado de la celda en el plato dosificador.	42
c. Primer modelo de celda.	43
d. Segundo modelo de celda.	44

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Tamaño de las semillas.	45
4.2 Dimensiones de los platos dosificadores y de las celdas.	46
4.3 Porcentaje del exceso de dimensiones de las celdas con respecto al tamaño promedio de las semillas.	47
4.4 Verificación de la eficiencia de los sensores.	49

4.5.3 Tercera Etapa.	74
a) Primera modificación al diseño de celda original.	74
b) Primera modificación al diseño de celda original a diferentes niveles de succión.	78
c) Segunda modificación al diseño de celda original.	81
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 Conclusiones.	86
5.2 Recomendaciones.	87
VI. LITERATURA CITADA.	89
VII. ANEXOS.	91

Figura 2.10 Empaque de un optointerruptor.	18
Figura 2.11 Uso de un sensor y contador en un evento físico.	18
Figura 2.12 Componentes de una sembradora neumática.	19
Figura 2.13 Mecanismo de medición con plato horizontal.	21
Figura 2.14 Mecanismo de medición con plato inclinado.	22
Figura 2.15 Mecanismo de medición con plato vertical.	22
Figura 2.16 Mecanismo de medición tipo banda.	23
Figura 2.17 Mecanismo de medición neumático.	24
Figura 2.18 El aire presurizado mantiene las semillas en su lugar.	24
Figura 2.19 Limitador de semilla y mecanismos de entrega.	25
Figura 2.20 Mecanismo de medición para hileras.	25
Figura 2.21 Corte transversal de unidad de disco medidor al vacío.	26
Figura 2.22 Efecto de la velocidad del plato y del tamaño de celda.	28

Figura 3.1 Laboratorio de Pruebas y Evaluación de Maquinaria Agrícola.	30
Figura 3.2 Variador de frecuencia.	31
Figura 3.3 Sistema de aspiración.	32
Figura 3.4 Sensores optoelectrónicos.	33
Figura 3.5 Contador digital.	33
Figura 3.6 Material utilizado en la remodelación de la celda.	34
Figura 3.7 Pruebas para determinar el porcentaje de llenado de celdas.	39
Figura 3.8 Vista superior de la celda, diámetro de succión.	40
Figura 3.9 Mezcla de soluciones.	41
Figura 3.10 Vaciado de la celda.	42
Figura 3.11 Celda adherida a la moneda.	42

Figura 3.12 Aplicación de la cera.	42
Figura 3.13 Proceso para uniformar las celdas.	43
Figura 4.1 Perfil del diseño de celda original.	46
Figura 4.2 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 30 celdas “A” probado con maíz bola.	51
Figura 4.3 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 30 celdas “A” probado con maíz plano medio.	52
Figura 4.4 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 30 celdas “A” probado con maíz plano grande	53
Figura 4.5 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 30 celdas “B” probado con maíz bola.	54
Figura 4.6 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 30 celdas “B” probado con maíz plano medio.	55
Figura 4.7 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 30 celdas “B”	

probado con maíz plano grande
.
56

Figura 4.8 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 3 celdas

probado con maíz bola.

57

Figura 4.9 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 3 celdas

probado con maíz plano medio.

58

Figura 4.10 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 3 celdas

probado con maíz plano grande

59

Figura 4.11 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 40 celdas

probado con maíz bola.

60

Figura 4.12 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 40 celdas

probado con maíz plano medio.

61

Figura 4.13 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 40

probado con maíz plano grande

62

Figura 4.14 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 80 celdas

probado con soya.	63
---------------------------	----

Figura 4.15 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión de 4.3 mm probado con maíz bola y plato con 3 celdas.	65
--	----

Figura 4.16 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión de 4.3 mm probado con maíz plano medio y plato con 3 celdas.	66
---	----

Figura 4.17 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión de 4.3 mm probado con maíz plano grande y plato con 3 celdas.	67
--	----

Figura 4.18 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión de 3.9 mm probado con maíz bola y plato con 3 celdas.	68
--	----

Figura 4.19 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión de 3.9 mm probado con maíz plano medio y plato 3 celdas.	69
---	----

Figura 4.20 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión de 3.9 mm probado con maíz plano grande y plato 3 celdas.	70
--	----

Figura 4.21 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión de 3.9 mm probado con maíz bola y plato con 4 celdas.	71
--	----

Figura 4.22 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión de 3.9 mm probado con maíz plano medio y plato con 4 celdas.	72
---	----

Figura 4.23 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión de 3.9 mm probado con maíz plano grande y plato 4 celdas.	73
--	----

Figura 4.24 Perfil del primer diseño de celda.
75

Figura 4.25 Porcentaje de llenado de celdas con el primer diseño de celda
probado con maíz bola.
76

Figura 4.26 Porcentaje de llenado de celdas con el primer diseño de celda
probado con maíz plano medio.
77

Figura 4.27 Porcentaje de llenado de celdas con el primer diseño de celda
probado con maíz plano grande.
78

Figura 4.28 Porcentaje de llenado de celdas con el primer diseño de celda,
a 4.47 KPa probado con maíz bola.
79

Figura 4.29 Porcentaje de llenado de celdas con el primer diseño de celda,
a 2.98 KPa probado con maíz plano
medio.
80

Figura 4.30 Perfil del segundo diseño de celda.
81

Figura 4.31 Porcentaje de llenado de celdas con el segundo diseño de celda
probado con maíz bola.

Figura 4.32 Porcentaje de llenado de celdas con el segundo diseño de celda probado con maíz plano medio. .

Figura 4.33 Porcentaje de llenado de celdas con el segundo diseño de celda probado con maíz plano grande. .

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Ventajas de la A. de Precisión vs la A. Tradicional.	05
Tabla 4.1 Variables del tamaño de maíz bola.	45
Tabla 4.2 Variables del tamaño de maíz plano medio.	45
Tabla 4.3 Variables del tamaño de maíz plano grande.	45
Tabla 4.4 Variables del tamaño de soya.	46
Tabla 4.5 Peso del la semilla.	46
Tabla 4.6 Dimensiones de los platos y las celdas.	47
Tabla 4.7 Porcentaje de las dimensiones de las celdas en un plato con 3 celdas.	47
Tabla 4.8 Porcentaje de las dimensiones de las celdas en un plato con 30 celdas "A"	47

.
47

Tabla 4.9 Porcentaje de las dimensiones de las celdas en un plato con 30 celdas "B"

.
48

Tabla 4.10 Porcentaje de las dimensiones de las celdas en un plato con 40 celdas.

.
48

Tabla 4.11 Porcentaje de las dimensiones de las celdas en un plato con 80 celdas.

.
48

Tabla 4.12 Equivalencia de las variables de velocidad en un plato con 30 y 3 celdas.

.
48

Tabla 4.13 Equivalencia de las variables de velocidad en un plato con 40 y 4 celdas.

.
49

Tabla 4.14 Equivalencia de las variables de velocidad en un plato con 80 celdas.

.

Tabla 4.15 Porcentaje de error del sensor de semilla a diferentes velocidades.

Tabla 4.16 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas plato con 30 celdas "A" maíz bola.

Tabla 4.17 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas plato con 30 celdas "A" maíz plano medio.

Tabla 4.18 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas plato con 30 celdas "A" maíz plano grande.

Tabla 4.19 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas plato con 30 celdas "B" maíz bola.

Tabla 4.20 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas plato 30 celdas "B" maíz plano medio.

Tabla 4.21 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas plato con 30 celdas "B" maíz plano grande.

Tabla 4.22 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas plato
con 3 celdas maíz bola. .

.
.
58												

Tabla 4.23 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas plato
con 3 celdas maíz plano

medio.

.
.
59												

Tabla 4.24 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas plato
con 3 celdas maíz plano

grande.

.
.
60												

Tabla 4.25 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas
plato 40 celdas maíz bola. .

.
.
61												

Tabla 4.26 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas plato
con 40 celdas maíz plano

medio.

.
.
62												

Tabla 4.27 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas plato
con 40 celdas maíz plano

grande.

.
.
63												

Tabla 4.28 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas plato
con 80 celdas soya.. .

.
.
64												

Tabla 4.29 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas

con un diámetro de succión
4.3 mm, maíz bola.
65

Tabla 4.30 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas
con un diámetro de succión
4.3 mm, maíz plano medio. 66

Tabla 4.31 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas
con un diámetro de succión
4.3 mm, maíz plano grande. 67

Tabla 4.32 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas
con un diámetro de succión
3.9 mm, maíz bola.
6 8

Tabla 4.33 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas
con un diámetro de succión
3.9 mm, maíz plano medio. 69

Tabla 4.34 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas
con un diámetro de succión
3.9 mm, maíz plano grande. 70

Tabla 4.35 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas,
diámetro de succión 3.9 mm,
plato con 4 celdas, maíz bola. 72

Tabla 4.36 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas,
diámetro de succión 3.9mm,
plato 4 celdas, m. plano medio. 73

Tabla 4.37 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas,
diámetro de succión 3.9mm,
plato 4 celdas, m. plano grande 74

Tabla 4.38 Dimensiones del primer diseño de celda.
. 74

Tabla 4.39 Porcentaje de las dimensiones de la primera modificación al
diseño de celda original. .

.	75
-----------	----

Tabla 4.40 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas,
primer diseño de celda, maíz

bola.	76
---------------	----

Tabla 4.41 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas,
primer diseño de celda, maíz

plano medio.	77
----------------------	----

Tabla 4.42 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas,
primer diseño de celda, maíz

plano grande.	78
-----------------------	----

Tabla 4.43 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas,
primer diseño de celda, 4.47

KPa, maíz bola.	79
-------------------------	----

Tabla 4.44 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas,
primer diseño de celda, 2.98

KPa, maíz plano medio.	80
--------------------------------	----

Tabla 4.45 Posición de las coordenadas en (mm) de la vista superior de la
celda.

.	81
-----------	----

Tabla 4.46 Posición de las coordenadas en (mm) del corte longitudinal de
la celda.

.	
-----------	--

. 81

Tabla 4.47 Porcentaje de las dimensiones de la segunda modificación al
diseño de celda original.

. 82

Tabla 4.48 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas,
segundo diseño de celda,

maíz bola. 83

Tabla 4.49 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas,
segundo diseño de celda,

maíz plano medio. 84

Tabla 4.50 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas,
segundo diseño de celda,

maíz plano grande 85

RESUMEN

En la actualidad en México se requieren sistemas dosificadores neumáticos de semilla de alta precisión que nos permitan reducir pérdidas de insumos agrícolas, maximizar las utilidades y asegurar las condiciones para realizar una buena siembra. El propósito de esta investigación fue evaluar y seleccionar sensores optoeléctricos que permitieran registrar variables como son: el desplazamiento (velocidad de siembra) y la caída de las semillas (número de semillas depositadas, porcentaje de llenado de celdas). El trabajo de investigación se dividió en 3 etapas. La primera consistió en la evaluación de discos dosificadores con diferentes tamaños de celdas en cultivos como son: maíz y soya. En la segunda fase se varió el diámetro de succión original 2.7 mm a 4.3 mm y después 3.9 mm con la finalidad de eliminar excesos de llenado de celdas. Finalmente, la última etapa fue redimensionar las celdas con respecto al tamaño promedio de las semillas. Los resultados de las pruebas indican que los porcentajes de la celda con respecto al tamaño de la semilla fueron: maíz bola: 54.64% en longitud; 28.26% en ancho y (-) 51.81% en profundidad; maíz plano medio: 45.63% en longitud; 42.17% en ancho y (-) 9.09% en profundidad; maíz plano grande: 29.31% en longitud; 31.11% en ancho y (-) 16.67% en profundidad. La pendiente fue de 26.66% con un diámetro de succión de 3.9 mm. La evaluación

del sistema experimental de dosificación neumático, permitió lograr un llenado de celdas del $100\pm 5\%$. El rango de velocidad de siembra en maíz bola y maíz plano medio fue de 3.5 a 8.2 km h^{-1} , lo cual representa un rango de velocidad de 583 a 1361 semillas min^{-1} . En maíz plano grande fue de 5.4 a 8.2 km h^{-1} , lo cual representa un rango de velocidad de 849 a 1361 semillas min^{-1} . Finalmente, los sensores empleados tanto el de desplazamiento como el de conteo de semilla nos dan un porcentaje de eficiencia del 98% en el conteo de semillas en condiciones de laboratorio.

RESUMEN

Actualmente en México se requieren sistemas dosificadores neumáticos de alta precisión que nos permitan reducir pérdidas de insumos agrícolas, maximizar las ganancias y reducir la contaminación, sobre todo en áreas mecanizadas del país. El propósito de esta investigación fue evaluar y seleccionar sensores optoeléctricos que permitieran registrar variables como son: desplazamiento y la caída de las semillas. La evaluación del sistema experimental de dosificación neumático permitió lograr un llenado de celdas del $100\% \pm 5$. El trabajo de investigación se dividió en 3 etapas. La primera consistió en la evaluación de discos dosificadores con diferente tamaño de celda probados con maíz y soya. En la segunda fase se varió el diámetro de succión original: 4.3 y 3.9 mm con la finalidad de eliminar excesos de llenado de celdas. Finalmente, la última etapa fue redimensionar las celdas con respecto al tamaño promedio de las semillas. Los resultados de las pruebas indican que los porcentajes de la celda con respecto al tamaño de la semilla fueron: maíz bola: 54.64% en longitud; 28.26% en ancho y (-) 51.81% en profundidad; maíz plano medio: 45.63% en longitud; 42.17% en ancho y (-) 9.09% en profundidad; maíz plano grande: 29.31% en longitud; 31.11% en ancho y (-) 16.67% en profundidad. La pendiente fue de 26.66% con un diámetro de succión de 3.9 mm. El rango de velocidad de siembra en maíz bola y maíz plano medio fue de 3.5 a 8.2 km h^{-1} lo cual representa un rango de velocidad de 583 a 1361 semillas/minuto. En maíz plano grande fue de 5.4 a 8.2 km h^{-1} lo cual representa un rango de velocidad de 849 a 1361 semillas/minuto. Finalmente, los sensores empleados tanto el de desplazamiento como el de conteo de semilla nos dan un porcentaje de seguridad del 98% en el conteo de semillas para trabajos de evaluación de sistemas dosificadores neumáticos en condiciones de laboratorio.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática de los sistemas dosificadores neumáticos.

En la actualidad, la adopción de los sistemas de labranza de conservación en el país, se ha visto limitada entre otras causas por la falta de equipo apropiado para las condiciones topográficas y a los tamaños de tractores existentes en nuestro país. Otro factor importante de la baja adopción del sistema de conservación, es que algunas sembradoras de importación para cero labranza, no cuentan con sistemas flotación produciendo una excesiva irregularidad en la siembra. El costo de estos equipos fluctúa entre los \$8 000 a \$20 000 dólares americanos, además de que no existe en el país fábricas nacionales con tecnología propia para el desarrollo de sistemas de siembra de alta precisión.

Un proceso de siembra correcto, es el primer paso para obtener un resultado exitoso del cultivo. En las siembras comúnmente la entrega que hace el dosificador debe ser de una por una para lograr poblaciones y distribuciones óptimas la cual depende directamente del funcionamiento del dosificador. La utilización de dosificadores neumáticos como respuesta a la necesidad de una tecnología de siembra de precisión, representa sin duda una autonomía para la variación de parámetros como: densidad de siembra, velocidad de siembra y clasificación de semillas.

Un sistema de siembra de precisión no se concibe sin instrumentos que permitan al operador monitorear y realizar una forma oportuna los ajustes cuando sus parámetros de siembra se salen de los predefinidos. Los dosificadores llamados inteligentes, como componentes de un equipo de siembra y que dosifican en forma variable siguiendo prescripciones

preestablecidas con la inspección de sistemas de sensores, son el componente tecnológico ideal para alcanzar los resultados esperados para afianzar la producción y recuperar la sostenibilidad de las zonas agrícolas.

1.2 Antecedentes

Según (Kachman y Smith, 1994), las sembradoras de precisión son aquellas máquinas que pueden sembrar en surcos y son capaces de dosificar las semillas de una en una. Describen también a las fuentes de variación en la precisión como: fallas en el llenado del dosificador, llenado múltiple o sembrado defectuoso por su espacio entre plantas. Establecieron que la no-emergencia de una semilla debiera ser estudiada en el marco de los ensayos de precisión, ya que introduce un factor adicional de variabilidad, en caso de interpretar sencillamente un no-nacimiento por una falla. Proponen, entonces, el uso de los histogramas de distancia entre plantas para evaluar el planteo. En la búsqueda de precisión debieran respetarse los siguientes pasos: búsqueda de la variabilidad natural del lote, incidencia de los factores de rendimiento predefinidos y realizar ensayos exploratorios con metodología probada en el cultivo.

En la apreciación de (De Boer, 1999), la agricultura de precisión contribuye muy poco para mejorar los precios de infraestructura de transporte o disponibilidad del crédito; sin embargo, algunos productores argentinos ven a esta tecnología como una ayuda para mantener su posición como productores de grano a bajo costo. asados en otra tecnología (Campbell y Baker, 1989), desarrollaron el uso de rayos X, como método para tener una técnica adecuada a la ubicación tridimensional de una semilla dentro de un suelo agrícola bajo siembra directa. Para ello, las semillas deben cubrirse con un polvo a base de óxido de plomo, para ser opacas a los rayos X. El método conlleva el uso de un sistema de corrección basado en la geometría de los rayos X. Estas posiciones de referencias sirvieron para identificar la

posición real de las semillas dentro del suelo. Para obtener el espaciamiento entre semillas dosificadas por una sembradora en laboratorio, aparece como una buena precisión el sistema de sensoramiento optoelectrónico desarrollado por (Kocher, 1998) y citado luego por (Lan, 1999). El sistema lleva una celda por donde pasan las semillas dosificadas y un data-logger analiza los datos. Exponen que la ventaja de este sistema sobre los comerciales existentes, es que no sólo registra las semillas que pasan, sino cuándo es que pasa cada una, dando entonces la localización antero-posterior de cada semilla.

Entre los nuevos diseños para la siembra directa de precisión, destaca la propuesta de (Molin, 1998), en la que plantean un abresurco localizador para siembra a golpes, que se basa en acoplar un tubo dentro del suelo por donde la semilla alcanza la profundidad de siembra.

En una evaluación hecha basándose en índice de multiplicidad, calidad de alimentación, índice de pérdidas y precisión, el uso del dispositivo a 3 velocidades dentro del rango de 1 a 3 m s⁻¹, se comportó sin influencias sobre el dosificador que portaba. En ensayos de campo demostró no tener diferencias de prestación trabajando sobre tres condiciones diferentes de residuos en siembra directa. En lo que respecta a la adaptación de mecanismos a dosis variables (Ryu y Kim, 1998) han desarrollado un distribuidor de rodillo acanalado que se adapta a la siembra de precisión, de esa manera combina la sencillez para la variación de dosis, con posibilidad de comando satelital, con las ventajas de posicionar las semillas con la precisión requerida por los cultivos en línea. En la búsqueda de asistencia para una siembra con la precisión y alternativa de variación continua que requiere la agricultura de precisión, (Weatherly y Bowers, 1997) presentaron una sembradora con avanzado grado de automatización para resolver la variación continua de la profundidad de siembra, pilotada por un sensor de humedad resuelto con una cuchilla delantera que trabaja como electrodo

para una evaluación de la humedad en forma continua, basada en la conductividad eléctrica.

1.3 Agricultura de Precisión

Agricultura de precisión es el término utilizado para describir la meta del aumento de la eficiencia en la administración de la agricultura. Es una tecnología en desarrollo, que modifica las técnicas existentes e incorpora otras nuevas para producir un nuevo conjunto de herramientas a ser manejadas por el usuario.

Por tanto, la agricultura de precisión no es simplemente la habilidad de aplicar tratamientos distintos a escala local, sino que debe ser considerada como la habilidad para controlar con precisión y asignar la empresa agrícola a un nivel local y de granja, así como de tener los conocimientos suficientes para entender todos los procesos relacionados, de modo que puedan aplicarse los resultados obtenidos para lograr una meta determinada. En la Tabla 1.1 se señalan algunas diferencias basadas entre la agricultura de precisión y la agricultura tradicional.

Ventajas de la Agricultura de Precisión versus la Agricultura Tradicional.

Agricultura de Precisión	Agricultura Tradicional
Aplicación de pesticidas	
Gracias al tratamiento de imágenes aéreas, junto con las técnicas de digitalización, GPS y GIS, puede elaborarse un mapa del terreno con diferentes zonas detalladas, pudiendo prescribir la cantidad exacta de pesticida a aplicar en cada zona, según sus necesidades.	Trata todo el campo de cultivo como una superficie uniforme con necesidades similares.
Empleo de GPS para indicar a los aeroplanos dónde descargar los pesticidas y en qué cantidad, gracias a los mapas previamente elaborados.	Empleo de banderas humanas para señalar a los aeroplanos dónde aplicar los pesticidas.

b.	Aplicación de abonos
<p>Permite una aplicación específica según las necesidades de cada región, con dos métodos:</p> <p>Empleo de DGPS para dividir el terreno según una rejilla, con celdas de tamaño determinado por el usuario, posibilitando el acceso preciso a un punto concreto de cada celda, recoger una muestra y aplicar el abono estimado para cada celda. Empleo de fotografías aéreas. Éstas se digitalizan, georreferencian, y basándose en sus características se determina la cantidad de abono a aplicar en cada punto exacto del terreno. DGPS se encargará posteriormente de dar cada coordenada al vehículo de abono, así como la cantidad a aplicar.</p>	<p>La cantidad de abono a aplicar se determina por medio de la composición de diferentes muestras del terreno: al final requiere una aplicación uniforme de lo que se cree una buena estimación de la cantidad apropiada (se trata de una media).</p>

Tabla 1.1 Ventajas de la Agricultura de Precisión vs la Agricultura Tradicional. (Bragachini, 1993).

1.4 Objetivos

- Evaluación de sensores optoeléctricos a utilizar en un sistema de siembra directa.
- Validación de un módulo de control de registro de dosificación de semilla.
- Evaluación de un sistema experimental de dosificación neumático.

1.5 Hipótesis

Mediante el uso de sistemas inteligentes de dosificación se puede reducir hasta en un 20% la pérdida de semilla, lo que significa un incremento en la eficiencia de las densidades de siembra hasta un 90%.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Análisis Cinemático del plato dosificador de semilla.

Análisis de la aceleración de una partícula con notación polar compleja: expresando el vector de posición de una partícula en notación polar compleja obtenemos la ecuación 2.1 (Kimbrell, 1991).

$$P = p e^{i\theta} \quad (2.1)$$

Ahora si se obtiene la derivada de la ecuación 2.1 con respecto al tiempo, obtendremos la velocidad de la partícula y obtenemos la ecuación 2.2.

$$V_p = \frac{dp}{dt} e^{i\theta} + i p e^{i\theta} \frac{d\theta}{dt}$$
$$V_p = \dot{p} e^{i\theta} + i p \omega e^{i\theta} \quad (2.2)$$

Si volvemos a derivar con respecto al tiempo la ecuación 2.2, obtenemos la aceleración de la partícula, y obtenemos la ecuación 2.3.

$$A_p = \frac{d^2 p}{dt^2} e^{i\theta} + i \frac{dp}{dt} e^{i\theta} \frac{d\theta}{dt} + i \frac{dp}{dt} e^{i\theta} \frac{d\theta}{dt} + i^2 p e^{i\theta} \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 + i p e^{i\theta} \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$
$$A_p = \ddot{p} e^{i\theta} + 2ip\omega e^{i\theta} - p\omega^2 e^{i\theta} + ip\alpha e^{i\theta} \quad (2.3)$$

En donde:

$$\ddot{p} e^{i\theta} =$$

Aceleración con la cual la magnitud del vector está cambiando.

$$2ipw e^{i\theta} =$$

Componente Coriolis de la aceleración, i indica una rotación de 90° en la dirección de θ .

$$-pw^2 e^{i\theta} =$$

Aceleración normal, el signo menos indica que la aceleración normal es dirigida hacia el vector de origen.

$$ip\alpha e^{i\theta} =$$

Aceleración tangencial, i indica una rotación de 90 grados en dirección de θ .

En la Figura 2.1 se muestra el vector p que representa una partícula a un cierto ángulo con determinada magnitud y girando esta partícula a una velocidad angular w_{plato} con respecto a la velocidad de siembra de una máquina sembradora.

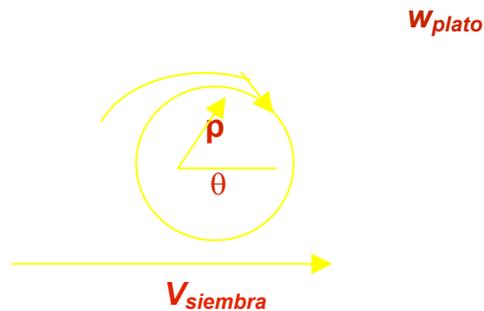


Figura 2.1 Análisis cinemático de la partícula considerando w_{plato} .

Otro factor muy importante que influye en los cálculos para la determinación de las fuerzas que tienen lugar en la partícula es la aceleración de la gravedad g (9.81 m/seg^2). En la Figura 2.2 se ilustra el efecto gravitatorio sobre la partícula en el análisis cinemático del plato dosificador.

i.

Partícula

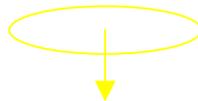


Figura 2.2 La aceleración gravitatoria influye en el análisis cinemático.

Ahora se tiene dos factores que influyen directamente en el análisis cinemático en el plato dosificador que son, primero, la velocidad misma del plato, w_{plato} , y segundo, la

fuerza de gravedad, g ; debiendo sumar este último término a la ecuación 2.3 para obtener la ecuación 2.4.

$$A_p = \ddot{P} e^{i\theta} + 2ipwe^{i\theta} - pw^2 e^{i\theta} + ip\alpha e^{i\theta} + g \quad (2.4)$$

Finalmente, para conocer las fuerzas que experimenta la partícula, es necesario multiplicar la ecuación 2.4 por la masa de la partícula (Segunda Ley de Newton, $F = ma$) y de esta manera obtenemos la ecuación 2.5.

$$F_p = \left(\ddot{p} e^{i\theta} + 2ipwe^{i\theta} - pw^2 e^{i\theta} + ip\alpha e^{i\theta} + g \right) m \quad (2.5)$$

2.2 Microcontroladores.

Es un circuito integrado programable (PIC's) que contiene todo los componentes de un computador. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Es decir, un microcontrolador (Figura 2.3) es un circuito integrado el cual, de no ser programado no realizará tarea alguna. Éste requiere ser programado para que realice desde la tarea más sencilla hasta el control más complicado (Flores, 2001).

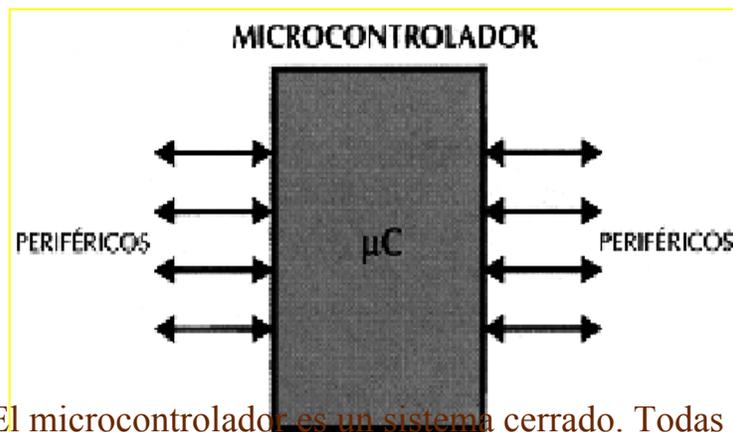


Figura 2.3 El microcontrolador es un sistema cerrado. Todas las partes del computador están contenidas en su interior y sólo salen al exterior las líneas que gobiernan los periféricos.

2.2.1 Componentes básicos de un microcontrolador.

Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes, (Manual de Microcontroladores, 2003):

- **Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).** La Unidad de Procesamiento Central es el corazón del microcontrolador y es aquí donde todas las operaciones aritméticas y lógicas son realizadas. Es decir, es la unidad que calcula todas las operaciones que son ordenadas por la memoria del programa.
- **Memoria de Programa.** **Contiene las instrucciones organizadas en una secuencia particular para realizar una tarea. Típicamente es denominada memoria de sólo lectura (ROM) u OTP, EPROM o FLASH que son memorias que una vez programadas almacenan información aunque el sistema no sea energizado, esto permite que el microcontrolador ejecute el programa almacenado en la memoria inmediatamente después de ser energizado.**
- **Memoria de Datos.** **Esta es una memoria que puede ser escrita y leída según sea requerido por el programa. Tiene las funciones de almacenamiento de datos (pila) y como almacenamiento de variables. Este tipo de memoria es usualmente llamada memoria RAM (Memoria de Acceso Aleatorio). Cada localidad de memoria tiene una dirección única con la cual el UCP encuentra la información necesaria. Los microcontroladores actuales contienen ambas memorias (programa y datos) incluidas dentro del circuito integrado. Por otro lado, resulta necesario contar con otras unidades que hacen posible el funcionamiento mínimo de un microcontrolador que son circuitería de temporización y entradas / salidas.**
- **Circuitería de Temporización.** **Los microcontroladores usan señales de Temporización llamadas reloj que proveen una referencia en el tiempo para la ejecución del programa. Esta señal determina en qué momento los datos deben ser escritos o leídos de la memoria. Así mismo, provee la sincronía con los dispositivos conectados al microcontrolador (Periféricos).**

- Entradas / Salidas. Los microcontroladores requieren de una interfase para comunicarse con la circuitería externa. Esta interfase es denominada comúnmente como puerto. Existen puertos de entrada y salida, y éstos permiten que las señales o datos sean leídos del exterior o mandados al exterior del microcontrolador. Los puertos están formados de pines, (terminales del circuito integrado), los cuales, dependiendo de la aplicación son conectados a un sin fin de dispositivos como teclados, interruptores, sensores, relevadores, motores y otros.

2.2.2 Arquitectura Básica.

Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de Vonn Neumann, en el momento presente se impone la arquitectura Harvard. La arquitectura de Vonn Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control).

La arquitectura Harvard (Figura 2.4) dispone de dos memorias independientes una, que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias, (S/A, 2003).

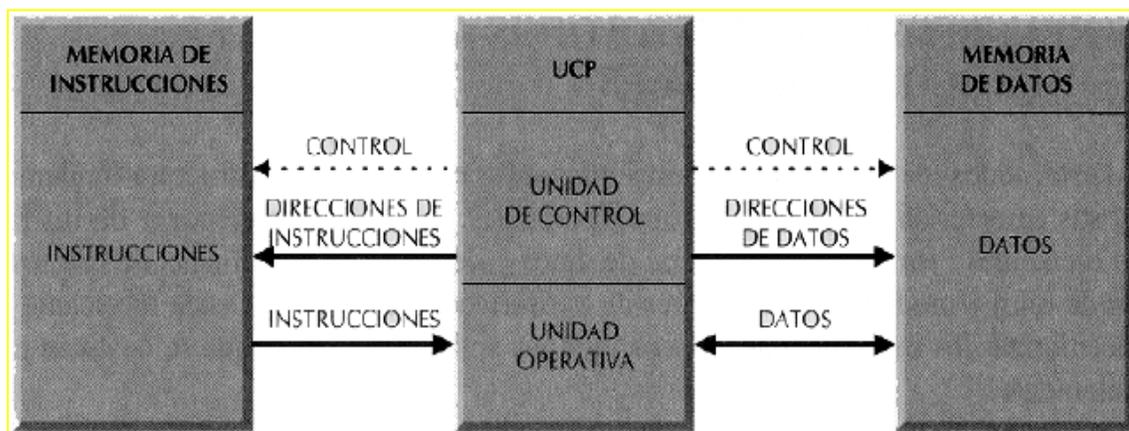


Figura 2.4 La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes para instrucciones y datos, permitiendo acceso simultáneo, (Manual de Microcontroladores, 2003).

2.2.3 El microcontrolador COP8SA.

El COP8SA es un microcontrolador de la familia característica de 8 bits y un proceso EPROM de alta densidad, con una gran variedad en encapsulados, variedad en rangos de temperatura y voltaje (Figura 2.5).

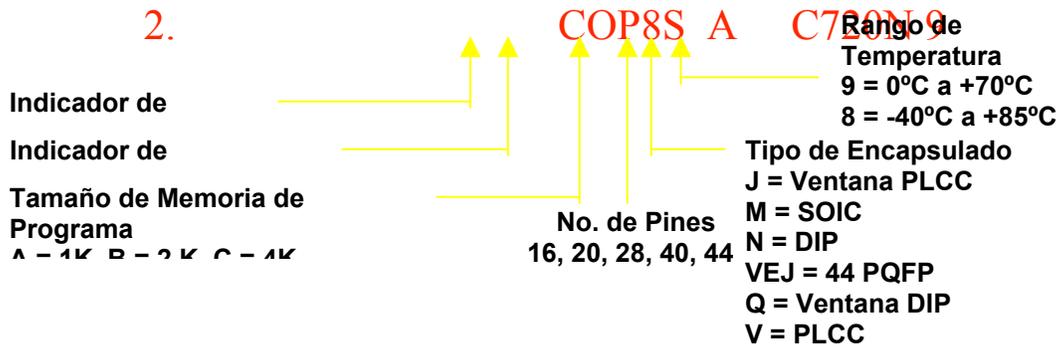
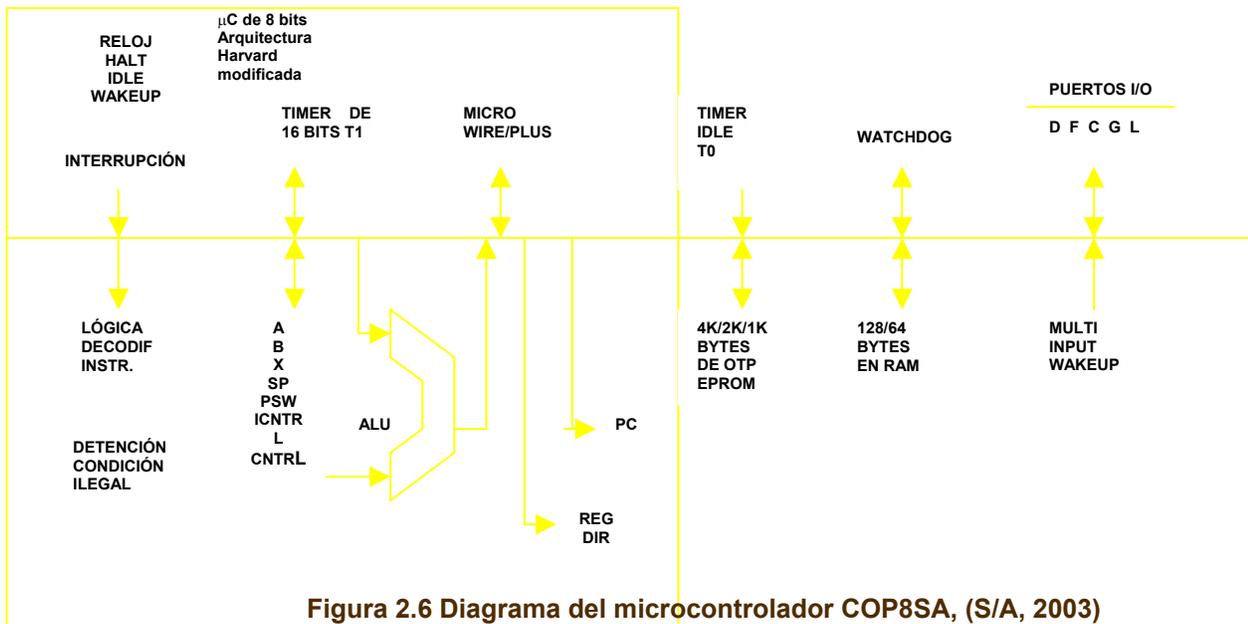


Figura 2.5 Identificación del COP8SA, (S/A, 2003).

La Familia COP8SA se basa en la arquitectura Harvard Modificada, la cual permite que las tablas de datos se accedan directamente desde la memoria de programa. Consecuentemente las tablas de datos pueden estar en ROM o EPROM sin problemas que bajo alguna circunstancia los datos se pueden perder. El microcontrolador COP8SA es un controlador de 5 puertos de propósito general (D, F, C, G, L), memorias ROM que van desde 1K hasta los 4K, memorias RAM desde los 64 hasta los 128 bytes, funciones alternativas en algunos pines como "MultiInput Wakeup" orientados a "despertar" al COP8SA de los estados de bajo consumo de potencia. Por otro lado encontramos dos timers T0 y T1. El timer de 16 bits T1 es capaz de

funcionar en varios modos. En la Figura 2.6 se ilustra un diagrama a bloques del COP8SA.



2.2.4 Ventajas de usar microcontroladores.

- **Aumento de prestaciones:** un mayor control sobre un determinado elemento, representa una mejora considerable en el mismo.
- **Aumento de la fiabilidad:** al reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.
- **Reducción del tamaño en el producto acabado:** la integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra y los stocks.
- **Mayor flexibilidad:** las características de control están programadas, por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.

El microcontrolador es, en definitiva, un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que gobierna. En

este caso el controlador recibe el nombre de controlador empotrado, (Manual de Microcontroladores, 2003).

2.2.5 Aplicaciones de los microcontroladores.

Cada vez existen más productos que incorporan un microcontrolador con el fin de aumentar sustancialmente sus prestaciones, reducir su tamaño y costo, mejorar su fiabilidad. Algunos fabricantes de microcontroladores superan el millón de unidades de un modelo determinado producidas en una semana. Este dato puede dar una idea de la masiva utilización de estos componentes, (Manual de Microcontroladores, 2003).

Los microcontroladores están siendo empleados en multitud de sistemas presentes en nuestra vida diaria, como pueden ser juguetes, horno microondas, frigoríficos, televisores, computadoras, impresoras, módems, el sistema de arranque de nuestro coche y otros, así como muchas más aplicaciones con las que seguramente no estaremos tan familiarizados como: instrumentación electrónica y control de sistemas en una nave espacial. Una aplicación típica podría emplear varios microcontroladores para controlar pequeñas partes del sistema. Estos pequeños controladores podrían comunicarse entre ellos y con un procesador central, probablemente más potente, para compartir la información y coordinar sus acciones, como de hecho ocurre ya habitualmente en cualquier pc.

2.3 Contador Electrónico.

El contador electrónico es un dispositivo de conteo digital multipropósitos. Los principios de operación se basan en el oscilador o temporizador estable. (Beckwith, 1993)

La salida del reloj de la Figura 2.7, es una onda cuadrada, ésta puede ser usada como una señal de sincronización e inmediatamente después, es usado un circuito J-K flip flop, el cual es una variación del S-R flip flop. La salida del J-K es barrida por el lado negativo de la onda cuadrada de entrada (reloj) y tiene conectados los flip flops en cascada (la salida de cada uno, se conecta a la entrada del siguiente), como se ilustra en la Figura 2.7 (a). Por ejemplo, para cada periodo del reloj de entrada, el valor de salida binario del bit 4, A3, A2, A1, A0, es como se muestra en la Figura 2.7 (b). A3 es el bit más significativo (MSB) y A0 es el bit menos significativo (LSB).

Este circuito es llamado contador binario y es el circuito gobernante para el contador universal. Como se muestra en la Figura 2.7 (c), el contador solo contará hasta 1111_2 ó 15_{10} . Cascadeando ocho J-K flip flops, el contador será incrementado a $1111\ 1111_2$ ó 255_{10} .

El diagrama esquemático para el contador electrónico es mostrado en la Figura 2.7 (c). Los números binarios son convertidos a decimales y mostrados por diodos emisores de luz (LEDs) o por medio de un display de cristal líquidos (LCD).

2.3.1 Conteo de eventos.

El contar eventos es la forma más simple de medición para demostrar el uso de un contador electrónico; si el reloj es desconectado y reemplazado por un dispositivo que produzca un pulso cuadrado (debido a un simple evento físico), el resultado es un instrumento que totaliza eventos o un contador de eventos, como se muestra en la Figura 2.8.

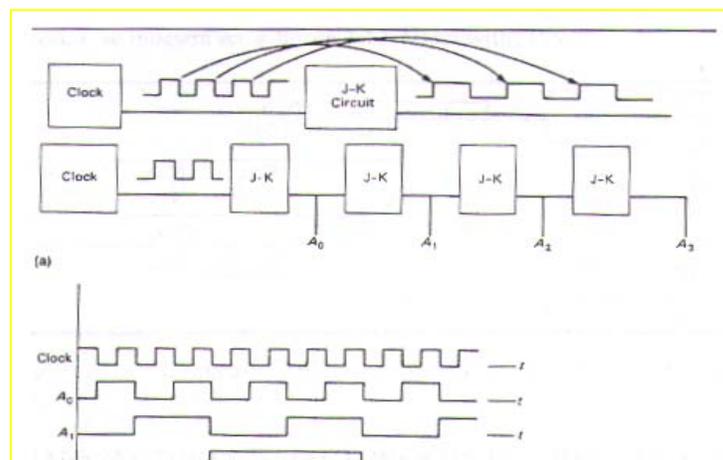


Figura 2.7 Uso de una señal en un contador electrónico. a) Cascado de la señal, b) Representación binaria de 4 bits, c) Diagrama esquemático.
(Beckwith, 1993).

2.3.3 Transductores detectores de luz para el conteo de semillas.

(Beckwith, 1993), menciona que los detectores sensibles a la luz, fotosensores o fotoceldas pueden ser categorizados como detectores térmicos o detectores de fotones. Los detectores

térmicos involucran un elemento sensible a la temperatura, el cual es calentado por una luz incidente. El dispositivo de fotones responde directamente a la absorción de fotones o también por la emisión de electrones desde una superficie (efecto fotoeléctrico) o por la creación adicional de pares electrón-hueco en un semiconductor. Los dispositivos de fotones están categorizados en la Figura 2.9.

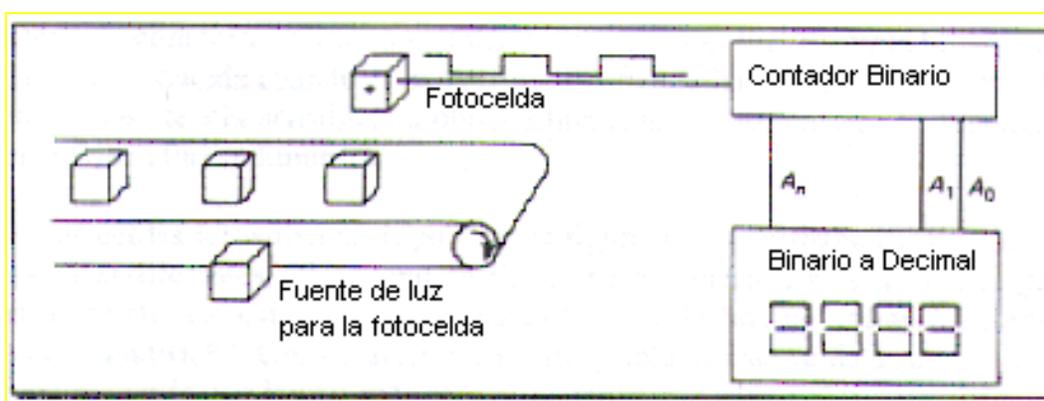


Figura 2.8 Contador electrónico usado como contador de eventos, (Beckwith, 1993)

(Tejeda, 2000), menciona que los detectores fotoemisivos, tipo A de la Figura 2.9 consisten en la combinación de un cátodo-ánodo dentro de un cristal aislado o de una pieza de cuarzo empaquetado. Dentro del circuito, el choque de luz sobre el cátodo provoca emisión de electrones. Los electrones viajan hacia el ánodo, por lo tanto se provee de una pequeña corriente, adicionando sucesivamente algunos electrodos de voltaje (diodos) al empaque y una corriente sustancial de amplificación es obtenida produciéndose así un tubo

fotomultiplicador. Desde la invención de diminutos fotosensores semiconductores, estos dispositivos son usados solamente en aplicaciones muy especializadas. Cuando se requieren respuestas muy rápidas y altas ganancias o bien cuando longitudes de onda cortas (UV) están involucradas, estos tipos de dispositivos son muy útiles. Los fotosensores semiconductores son de varios tipos; en general, éstos trabajan mejor a longitudes de onda cercanas a los infrarrojos.

Las celdas fotoconductoras, tipo B de la Figura 2.9 consisten en una capa delgada de material, tal como el seleniuro de cadmio, algunos de sulfatos metálicos o germanio dopado cubierto entre electrodos sobre la superficie de un cristal plano. La celda se comporta como un resistor variable de luz controlada y su resistencia es reducida cuando se expone a una fuente luminosa. En conjunto con un circuito de resistencia sensible, se obtiene una señal de salida que es función de la intensidad luminosa.

Las celdas fotovoltaicas, tipo C de la Figura 2.9 consisten en un “sandwich” de materiales diferentes, tales como un hierro base, cubierto con una capa delgada de seleniuro de hierro. Cuando la celda es expuesta a la luz, un voltaje es formado a través del “sandwich”. Una característica distintiva de esta celda es que no requiere fuente externa, más que la luz (celda solar).

Los fotodiodos, tipos D1 y D2 de la Figura 2.9 consisten en una unión P-N, similar a la celda fotoconductiva; básicamente, es una fuente de corriente sensible a la luz. El fotodiodo PIN, se diferencia en que una capa de semiconductor no dopado (intrínseco) es “sandwichado” entre las capa P y N para expandir el rango de sensibilidad a longitudes de onda más largas. El fototransistor y el fotodarlington, tipos E1 y E2 de la Figura 2.9, son básicamente fotodiodos seguidos por una o dos etapas de amplificación incorporadas dentro del mismo empaque para ampliar la salida.

Los fotosensores pueden ser hechos selectivamente sensibles a la luz, no sólo dentro del espectro visible, sino también, dentro de los rangos infrarrojos y ultravioletas. Los sensores infrarrojos rastreadores de calor son comúnmente del tipo fotoconductor. La respuesta de los fotosensores a las rápidas variaciones en la intensidad de la luz no es instantánea, esta condición es determinada por la celda misma y por el circuito adicional. Los rangos de tiempo, son determinados por el tipo de celda y éstos son del orden de unos cuantos nanosegundos a algunos cientos de milisegundos.

Las aplicaciones de una foto celda en mediciones mecánicas incluyen un simple conteo (Figura 2.11), donde es utilizada la interrupción de un rayo de luz para la medida de esfuerzos,

control de puntos de rocío, medición de temperatura y controles de tensión.

Type	Symbol and Typical Circuit	Form of Output	Relative Frequency Response	Comments
A. Photoemissive or Photomultiplier		Current	Extremely fast	Cathode-anode in evacuated glass or quartz envelope. PMT gain can be 10^3 to 10^8 . Bulky; requires high voltage, and has given way to solid-state devices.
B. Photoconductive (or photoresistive)		Resistance change	Slow	Light-sensitive resistor. Increased light intensity causes reduced resistance.
C. Photovoltaic (solar cell)		Voltage	Fast	Typical open-circuit voltage, 0.45 V. In bright sunlight, 0.4 to 0.5 mA.
D1. Photodiode (PN junction) D2. PIN photodiode		Current	Very fast	Primary disadvantage is low output current. "Dark current" very low (nanoampere range), but not zero. PIN diode has "intrinsic" layer between P and N layers that provides response over wider range of light wavelengths. PIN is faster than PN type.
E1. Phototransistor		Current	Slower than photodiode	Produces much higher current for given input than photodiode does because of its amplifying ability. Base lead, if accessible, is seldom used.
E2. Photodarlington		Current	Slower than phototransistor	Much more sensitive than phototransistor.

Figura 2.9 Clasificación de dispositivos de fotones. (Beckwith, 1993)

Algunos empaques especiales, (Beckwith, 1993) para optointerruptores y optoaisladores, consisten de fotoceldas combinadas con diodos emisores de luz (LEDs), arreglados de tal forma que la luz proveniente del led se proyecte hacia la celda (Figura 2.10). El optointerruptor se activa hasta que alguna forma de partícula mecánica sea usada para interrumpir el rayo de luz entre el led y la celda, por lo tanto se provee de un switch ON-OFF para conteo o para una infinidad de propósitos, tal como se ilustra en la Figura 2.11.

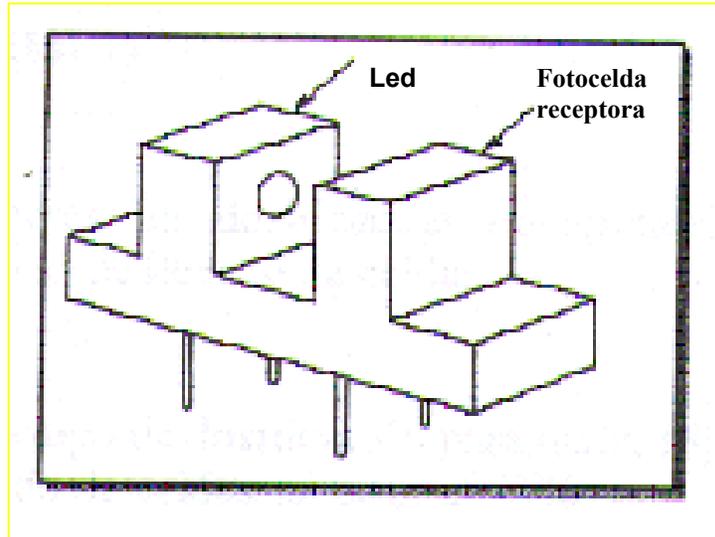


Figura 2.10 Empaque de un optointerruptor (Beckwith, 1993)

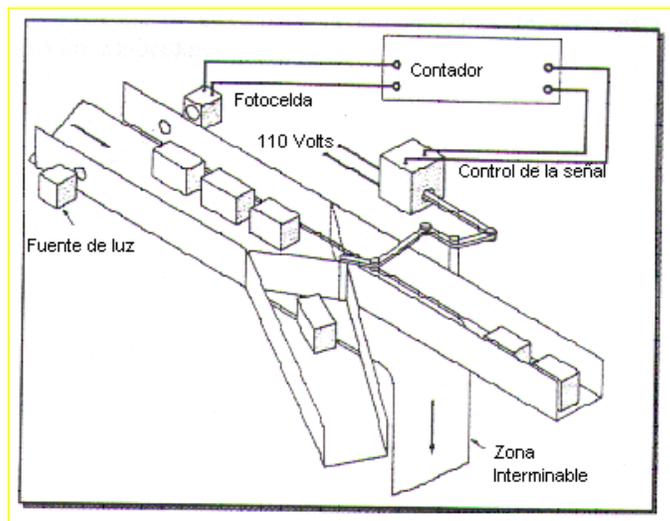


Figura 2.11 Uso de un sensor y un contador, en un evento físico, (Beckwith, 1993).

2.4 Funciones de una Sembradora.

Se requiere que una sembradora efectúe las siguientes funciones, (Kepner, 1978):

- 1. Abra el surco para la semilla a una determinada profundidad.**

2. Mida la semilla.
3. Deposite la semilla en el surco dentro de un patrón aceptable.
4. Cubra la semilla y compacte el suelo alrededor de la semilla a un grado propio para el tipo de semilla involucrada.

La sembradora debe ser capaz de no dañar la semilla, para que haya una buena germinación. La semilla debe ser colocada en el suelo de tal manera que todos los factores que afecten a la germinación y las labores de emergencia sean tan favorables como sea posible.

Las partes de una sembradora de precisión como la que se muestra en la Figura 2.12, son las siguientes (Ortiz, 1989):

- Bastidor
- Discos cortadores de residuo
- Abridor de surcos
- Dosificador de semilla
- Dosificador de fertilizante
- Tapadores de surcos
- Transmisión
- Sensores de dosificación
- Turbina

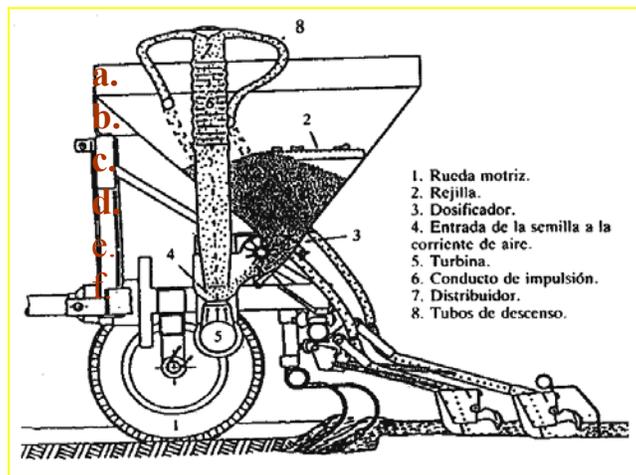


Figura 2.12 Componentes de una sembradora neumática (Ortiz, 1989).

2.5 Siembra de Precisión.

(Ortiz, 1989) menciona las condiciones que se deben reunir para que una siembra pueda denominarse de precisión:

1. Las semillas deben de ser de tamaño uniforme y forma preferiblemente esférica.
2. Las celdas deben de ser de tamaño apropiado para las semillas. Los platos y otras partes críticas del mecanismo de medición deben de ser fabricadas con exactitud.
3. Las semillas deben tener tiempo suficiente para entrar en las celdas, para lo cual es importante la velocidad periférica del plato.
4. Debe de existir un buen cepillo, con objeto de evitar siembras múltiples y barrer las semillas mal colocadas con el objeto de que no se quiebren.
5. Debe existir un sistema positivo de inyección de las semillas de modo que las obligue a caer por el tubo de salida.
6. El tubo de caída debe ser de diámetro pequeño, liso, recto y debe terminar en la proximidad del fondo del surco, con el objeto de que no se retrase la semilla durante la caída. Así, sembrando a una velocidad de 5 km/h con un espacio de 5 cm, si una semilla se retrasa 1/30 seg. al caer, será alcanzada por la semilla siguiente.
7. Las semillas deben situarse a la profundidad adecuada y no deben desviarse por rebote o por rodar en el surco.

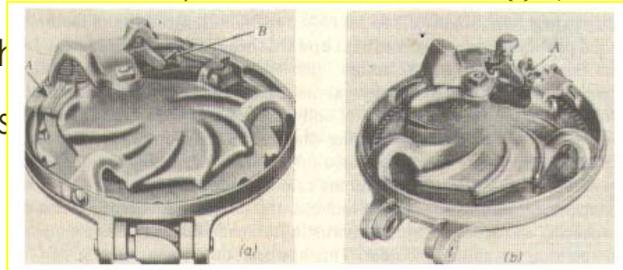
2.5.1 Mecanismos de medición de semillas.

Los mecanismos de medición de semillas se clasifican en:

- Con plato horizontal

- **Con plato inclinado**
- **Con plato vertical**
- **Con celdas en un banda**
- **Con celdas circunferenciales**
- **Neumático con ranuras**
- **Por dosificación al vacío**

a. Mecanismo de medición con plato horizontal. Existen dos tipos de platos que son: de fondo con celdas en el borde y de caída en la orilla, éstos se muestran en la Figura 2.13 (Kepner, 1978). Es el que más se utiliza para semillas de grueso calibre tales como maíz y garbanzo; ya que la precisión en estos casos puede considerarse aceptable. Sin embargo, dada la forma de alimentación por el alojamiento a la forma de la s



A)

B)

Figura 2.13 Fondo de las tolvas de semillas para sembradoras de plato horizontal. A) Plato de caída en la orilla para maíz. B) Plato apropiado para siembra de precisión de remolacha azucarera o semillas recubiertas. (Kepner, 1978).

b. Mecanismo de medición con plato inclinado. Otro tipo de sistema de medición que se usa en platos semilleros es el tipo

plato inclinado ilustrado en la Figura 2.14. La alimentación es lateral donde las semillas se recogen desde la parte inferior de la tolva siendo descargadas bien por la parte superior, o bien en un segundo plato paralelo al interior que las conduce justo hasta la zona de descarga situado bajo la tolva. Los distribuidores de plato inclinado son sensibles a la caída de las semillas a la tolva, una vez alimentados, por efecto de las vibraciones producidas en el cuerpo de la siembra. La altura de caída varía entre 10 y 30 cm, según si la descarga es por abajo o por arriba (Ortiz, 1989).

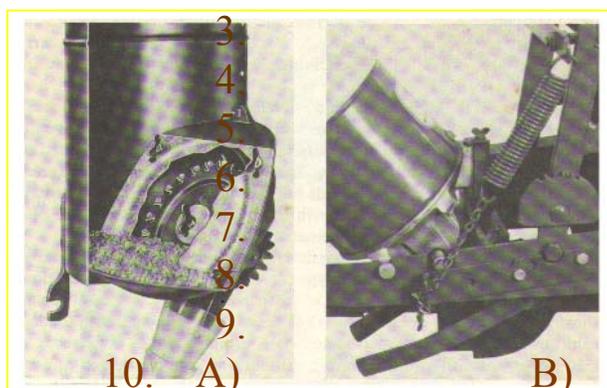


Figura 2.14 A) Mecanismo de medición de semillas de plato inclinado, B) Mecanismo de medición de semillas de plato inclinado diseñado para siembra de precisión de pequeñas semillas vegetales. (Kepner, 1978).

c. Mecanismo de medición con plato vertical. Los mecanismos de medición con rotación vertical del tipo mostrado en la Figura 2.15 son usados con frecuencia en siembras precisas de vegetales y remolacha azucarera, como lo menciona (Kepner ,1978). Mejor que disco, cabría hablar de tambor estrecho, de 2 a 4 cm de espesor en cuyo lomo se disponen los alojamientos de las semillas. Estos pueden disponerse sobre la superficie

exterior en hilera simple o doble alternada. Este segundo caso posibilita duplicar el número de alojamientos, aumentar el tiempo de alimentación o mejorar el coeficiente de llenado. Dada la reducida altura de descarga, menor de 10 cm., se mejora notablemente la precisión, sin embargo, son más caras que las anteriormente mencionadas. El diámetro de los platos puede llegar a los 50 cm. (Ortiz, 1989).

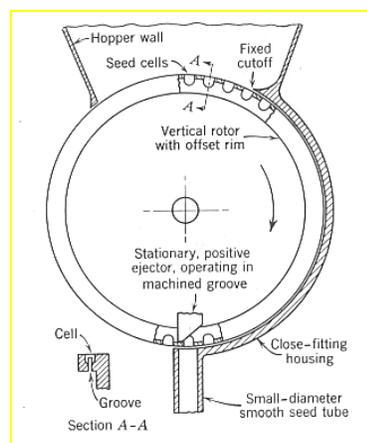


Figura 2.15 Mecanismo de medición de semilla con rotación vertical. (Kepner, 1978).

d. Mecanismo de medición con celdas en una banda. Este tipo de mecanismo preciso de medición tiene celdas en una banda, ajustadas a las semillas (Figura 2.16). Las semillas llegan desde un depósito y entran a la cámara por arriba de la banda por medio de la apertura A, y son mantenidas en un nivel controlado (Kepner, 1978).

Como la banda gira en sentido de las manecillas del reloj, el botador de semillas que también gira, retira las semillas en exceso, teniendo una semilla en cada celda. Las semillas que están en las celdas son transportadas sobre la base y son

descargadas por la parte inferior de la banda en la rueda repelente de semillas. La falta de estos mecanismos repelentes de excesos de semillas causa variabilidad en el espaciamiento de las semillas.

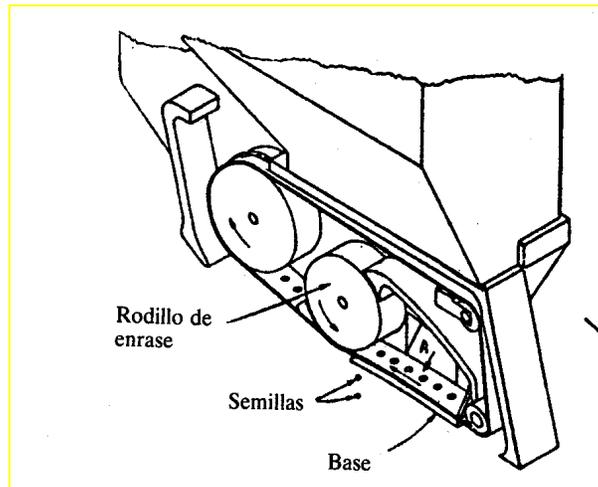


Figura 2.16 Mecanismo de medición de semilla tipo banda (Kepner, 1978)

e. Mecanismo de medición neumático con celdas circunferenciales. El sistema de medición neumática (Figura 2.17) (aire a presión) dispone de un depósito centralizado y unidades de medición que abarcan 4, 6 u 8 hileras. (Kepner, 1978). El tambor de semillas tiene una hilera de celdas circunferenciales de semillas por unidad de sembradora en hilera. Es requerido un soplador para abastecer de aire al tambor, manteniendo una presión alrededor de 4 KPa (0.6 psi) en el tambor, el aire fluye a través de las celdas de semillas hasta que una semilla ocupa este lugar.

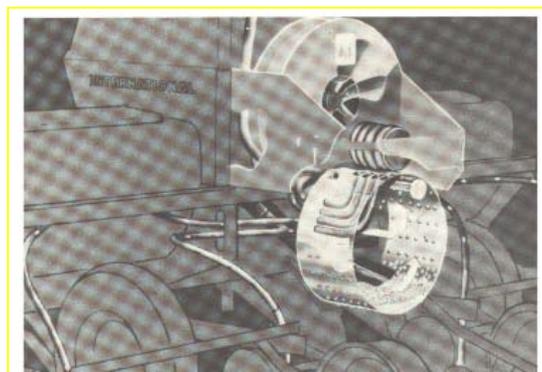


Figura 2.17 Mecanismo de medición de semillas neumático y sistema de distribución diseñado para granos como maíz, frijol y sorgo. (Kepner, 1978).

Debido a la existente presión diferencial cada semilla se mantiene en la celda a medida que el tambor gira hasta pasar por un cepillo estacionario posicionado cerca de la parte superior, en donde se retiran excesos de semilla.

Las ruedas bloqueadoras de aire colocadas en la parte superior del tambor tapan momentáneamente las celdas, provocando que las semilla caigan en el tubo de semillas. El flujo de aire a través de los tubos las conduce a sus unidades respectivas de siembra y las deposita en los surcos. Este sistema está diseñado para semillas tales como el maíz, frijol, granos de sorgo, empleando un tambor diferente para cada tipo de semilla. En la Figura 2.18 se muestra cómo funciona el sistema de medición neumática (aire a presión) con celdas circunferenciales y en la Figura 2.19 se ilustra como funciona el cepillo limitador y el mecanismo de entrega de semillas.

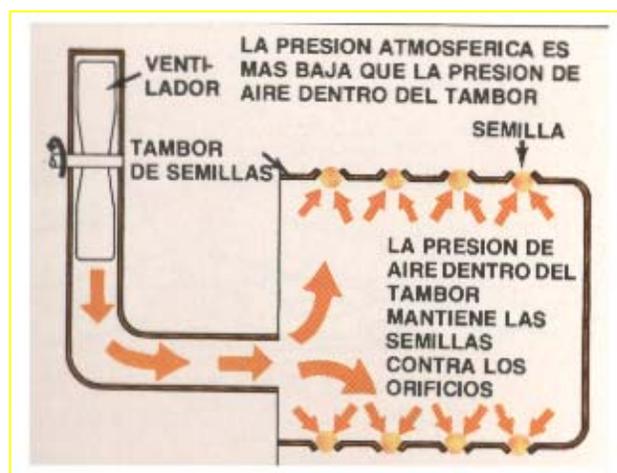


Figura 2.18 El aire presurizado mantiene las semillas en los orificios (Breece, 1975)

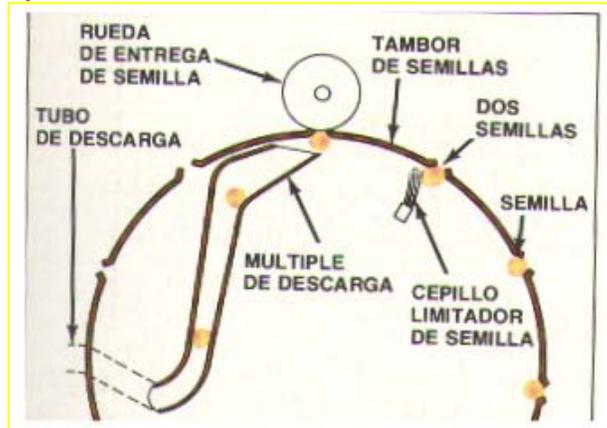


Figura 2.19 Limitador de semilla y mecanismo de entrega (medidor presurizado). (Breece, 1975).

f. Mecanismo de medición neumático con ranuras. El principio neumático es también utilizado para mecanismos de medición en surcos. Se necesitan pequeños sopladores manejados por motores eléctricos conectados al sistema eléctrico del tractor, y que proporcionen aire a presión a la cámara de medición (Kepner, 1978).

Las semillas sostenidas contra las ranuras son levantadas y transportadas en dirección contraria a las manecillas del reloj en la unidad mostrada en la Figura 2.20. Estas son liberadas en el tubo de semillas cuando las ranuras pasan una trampa que bloquea la presión del aire al interior de la porción frontal del rotor. Diferentes discos giratorios son usados para diferentes tipos de semillas.

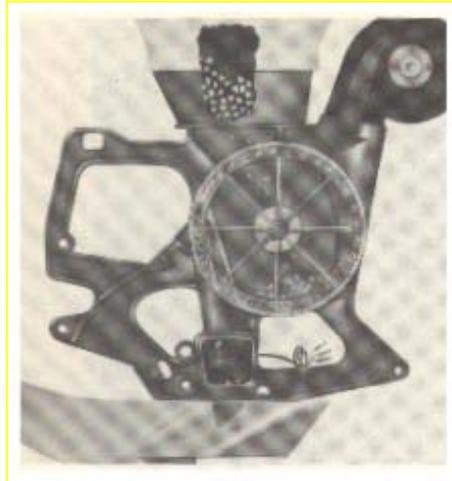


Figura 2.20 Mecanismo de medición para hileras. (Kepner, 1978).

g. Mecanismo de medición por dosificación al vacío. Un gran número de mecanismos de medición de semillas empleando el principio del vacío han sido desarrollados experimentalmente y al menos un fabricante contaba con una sembradora con el mecanismo de vacío en el año de 1977. Muchos de estos mecanismos tienen una bomba central de vacío con regulación a cada unidad succionadora, cada unidad cuenta con su respectiva cámara de vacío y el plato giratorio para evitar fugas de aire.

Las semillas al ser succionadas en contra de las celdas del plato giratorio, se mantienen en ellas hasta llegar a un punto donde el sello de vacío termina, y debido a la diferencia de presión existente entre la recámara de vacío y la presión atmosférica, las semillas caen hacia el fondo del surco por gravedad. En la Figura 2.21 se ilustra el principio de operación del sistema de medición por dosificación al vacío.

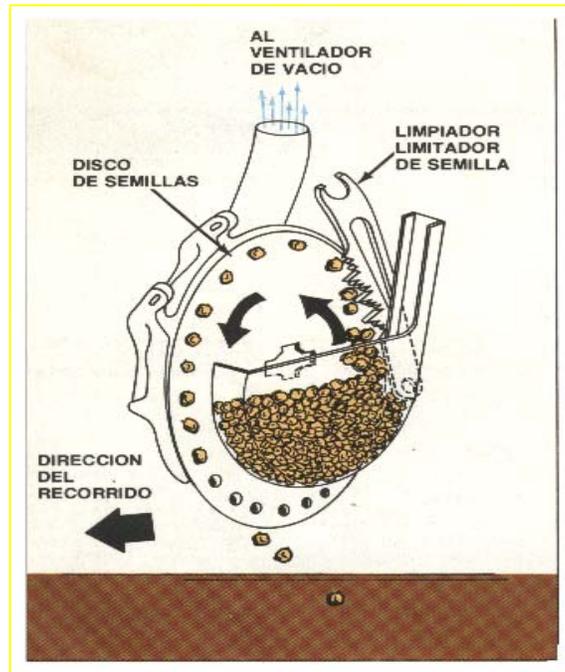


Figura 2.21 Corte transversal de unidad de disco medidor al vacío (Breece, 1975).

2.6 Factores que afectan el llenado de celdas y daño en las semillas.

El porcentaje de llenado de las celdas para una sembradora dada, está influenciado por factores tales como: el tamaño máximo de las semillas en relación al tamaño de la celda, el rango de tamaño de la semilla, la forma de éstas, la forma de las celdas, el tiempo de exposición de una celda a la semilla dentro del depósito y la velocidad lineal de la celda (Kepner, 1978).

El porcentaje de llenado de la celda se define como el número total de semillas descargadas dividido por el número total de celdas pasando por el punto de descarga. De acuerdo con esta definición, el 100 % de llenado de las celdas no necesariamente significa que cada celda contenga a una semilla, pero meramente implica que alguna celda pueda estar vacía y que otras sean llenadas por múltiples semillas. La distribución más uniforme de la semilla es usualmente obtenida con combinaciones de semilla, tamaño de la celda y velocidad de la celda, que proporcionan alrededor del 100% de llenado promedio de las celdas.

$$\%LlenadodeCeldas = \frac{Semillas\ Reales}{Semillas\ Teoricas} (100)$$

La Figura 2.22 (Kepner, 1978) muestra la relación de llenado de celdas contra la velocidad cuando la medición de la semilla de maíz es con sembradoras de plato de caída por la orilla y horizontal. La curva de líneas punteadas muestra muy pequeños incrementos en el llenado de celdas, debido posiblemente a unas cuantas celdas dobles, a medida que la velocidad fue reducida debajo del punto del 100 % de llenado, indicando que probablemente la semilla fue más uniforme y el tamaño de celda se aproxima a la semilla, que para alguna de las otras tres curvas, como se observa en la Figura 2.22.

La comparación de las curvas sólidas (Figura 2.22) muestra el efecto del tamaño de celda sobre el porcentaje de llenado. Aunque el plato de 14.3 mm (36/64 pulg.) ha sido recomendado por el productor de semilla para esta particular gran cantidad de semilla, esto obviamente fue demasiado pequeño. Las celdas más largas (curva

superior) tuvieron un porcentaje de dobles a bajas velocidades y dañan excesivamente a la semilla en altas velocidades. El efecto de la relación entre tamaño de semilla y tamaño de celda fue además mostrado por pruebas con semilla de remolacha azucarera procesada en una sembradora de plato horizontal teniendo 4.37 mm (11/64 pulg.) de diámetro de celdas, en donde fueron escogidas semillas dentro de límites de tamaño desde 2.78 a 3.18 mm (7/64 a 8/64 pulg.), 3.18 a 3.57 mm (8/64 a 9/64 pulg.), y 3.57 a 3.97 mm (9/64 a 10/64 pulg.) produjeron llenados de celdas alrededor de 140%, 100%, y 90% respectivamente” (Kepner, 1978).

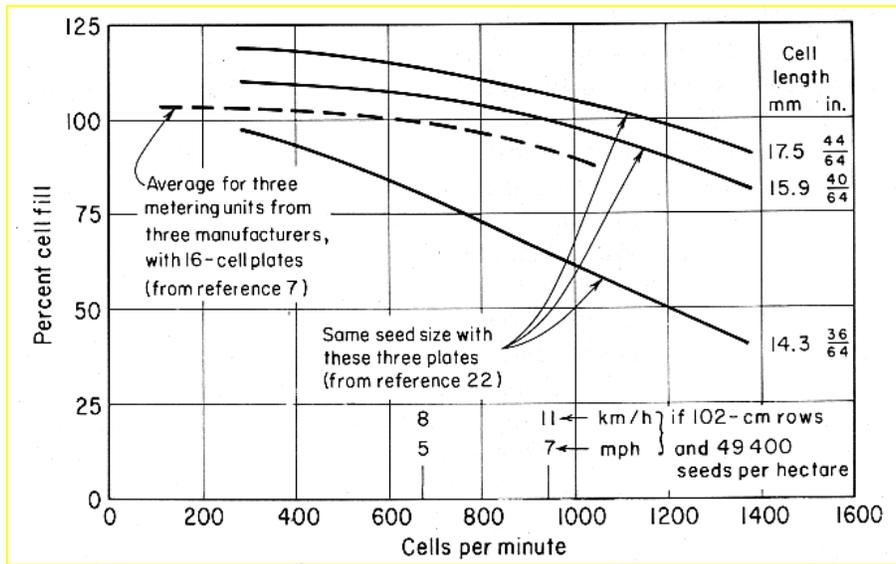


Figura 2.22 Efecto de la velocidad del plato y del tamaño de celda para maíz con platos de caída en la orilla y horizontal. (Espacio de hileras de 102 cm con una velocidad de avance para 49 400 semillas por hectárea). (Kepner, 1978)

En general, la experiencia ha indicado que el diámetro o longitud de la celda debe ser cerca del 10% mayor que la máxima dimensión de semilla, y que la profundidad de la celda debe ser igual al diámetro o espesor promedio de la semilla; tomando en cuenta además que los rendimientos son mejorados, por la graduación de la semilla dentro de tolerancias cercanas a los tamaños de las semillas reales. La

mayoría de las semillas dañadas en unidades de plato horizontal o rotación vertical, es provocada por el propio mecanismo botador. El porcentaje de semillas dañadas incrementa conforme la velocidad de celda aumenta, y el daño es además mayor si las celdas son demasiado largas. Sin embargo, el daño puede ser minimizado haciendo el mecanismo botador flexible y suave o empleando diseños en los cuales, semillas individuales sean botadas sin que sea necesario utilizar un elemento que las retire de la celda, como suele ser con el plato inclinado, aire a presión, y unidades de medición del tipo al vacío.

11.

III. MATERIALES Y MÉTODO

3.1 Ubicación del área de trabajo.

Las pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de Pruebas y Evaluación de Maquinaria y Equipos Agrícolas del campo experimental Cotaxtla, INIFAP, Veracruz (Figura 3.1). El campo experimental se encuentra ubicado a los 15°50' de latitud norte y a los 96°10' de longitud oeste, a una altitud de 14 msnm, en el kilómetro 34 de la carretera Veracruz-Córdoba.

En la región predomina el clima cálido subhúmedo. La precipitación pluvial anual es de 1 400 milímetros durante el verano, las cuales son causadas por masas polares de aire (nortes) que son los vientos dominantes en esta zona. La temperatura media anual es de 25°C.



Figura 3.1 Laboratorio de Pruebas y Evaluación de Maquinaria y Equipo Agrícola.

3.2 Materiales.

A continuación se menciona y describe el equipo y material empleado para el desarrollo del proyecto.

3.2.1 Se utilizó un variador de frecuencia trifásico de 200 Volts, de 0 a 60 Hz, marca Yaskawa de 3 hp (caballos de fuerza) para simular la velocidad de siembra en campo (Figura 3.2).



Figura 3.2 Variador de frecuencia

3.2.2 Un motor trifásico de 220 Volts que gira a 1750 rpm. Dos reductores de velocidad, el primero es de 1:35 que va del eje de salida del motor a la cámara donde se encuentra el sensor de desplazamiento, y el segundo es de 1:36 que va del eje del motor al engrane del eje del plato dosificador de semilla.

3.2.3 Una aspiradora para generar el vacío dentro de la cámara de succión. Se requirió del uso de una válvula para regular la succión, ésta se colocó entre la cámara y la aspiradora (Figura 3.3); de igual manera, se utilizó un vacuómetro con una escala de 0 a 15 pulgadas de agua.

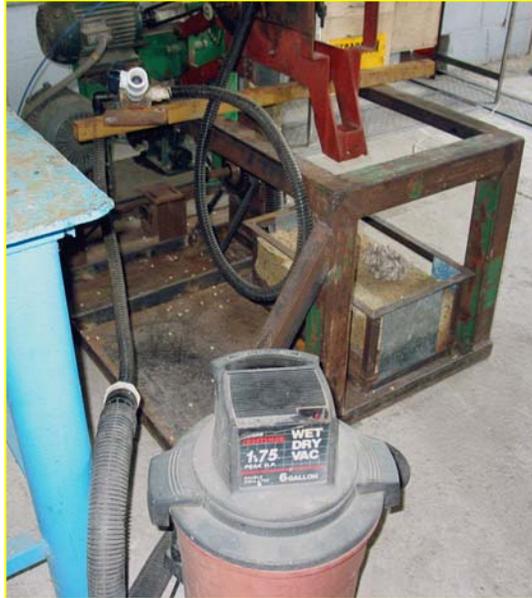


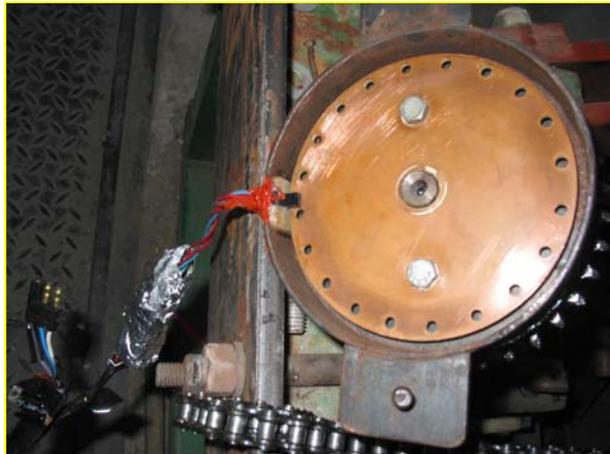
Figura 3.3 Sistema de Aspiración utilizado en las pruebas

3.2.4 Se utilizaron dos sensores optoeléctricos, denominados, sensor de desplazamiento y sensor de semilla. Dichos sensores operan de la siguiente forma: “El emisor de luz (led) es activado por un voltaje directo de excitación emitiendo de esta manera un haz de luz de tipo infrarrojo; por otra parte, el fototransistor no conduce corriente hasta que la base es polarizada por el haz de luz del led generando un voltaje de salida”. El sensor de semilla es colocado en el tubo de descarga de la semilla (Figura 3.4 a) y al detectar la caída de la semilla, envía una señal de salida al microcontrolador y éste mediante funciones previamente programadas despliega en un display en forma visual el número total de semillas caídas en determinado tiempo. Con respecto al sensor de desplazamiento, dicho sensor está integrado por un disco de cobre de 123 mm de diámetro con 20 perforaciones, una cámara donde es colocado el disco de cobre sellada de tal forma que obstruya el paso de ondas de luz visible, un opto-interruptor integrado por un led de luz infrarroja y un foto-transistor. La cámara se encuentra paralela al reductor de velocidad 1:35 sobre el mismo eje y dentro de ésta es colocado el opto-

interruptor en donde se encuentra el disco perforado (Figura 3.4 b). Este sensor es el que se encargará de medir el desplazamiento que genera el disco, enviando una señal en pulsos al contador digital.

Figura 3.4 Sensores utilizados durante las pruebas. a. Sensor de caída de semilla, b. Sensor de desplazamiento.

3.2.5 Un contador digital, el cual registra las señales que le envían



el sensor de semilla y el de desplazamiento. El contador está compuesto por dos microcontroladores COP8SA720N9, dos displays, cable plano de 14 guías y circuitos impresos (Figura 3.5); también, se requirió de una fuente de 12 Volts para conectar el contador.



Figura 3.5 Contador digital conectado a la fuente de voltaje.

3.2.6 Para la obtención del modelo y vaciado de celda, fue necesario contar con el siguiente material (Figura 3.6):

- **Cera desmoldante CP-500.** Diseñada para lograr un máximo y fácil desprendimiento del molde y artículos fabricados con resina.
- **Película separadora.** Su función es crear una capa para evitar la adherencia entre el molde y la resina.
- **Resina.** Se utilizó para crear un nuevo molde de celda, a ésta se le agregó cobalto, que es un acelerador, más un catalizador, que sirvió para endurecer a la resina.
- **Rellenador plástico.** Debido a sus propiedades de adherencia, lijado, flexibilidad y dureza, se utilizó para hacer el vaciado de las celdas, agregándole un catalizador (endurecedor).



Figura 3.6 Material usado para la remodelación de la celda

También se emplearon hojas de registro, un vernier, cinta canela, lija de agua.

3.2.7 Software. Se utilizó el paquete computacional Microsoft Excel para capturar los datos que se obtuvieron durante las pruebas y se calcularon las variables como son: semillas teóricas, la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación, también se uso el programa MINITAB para Widows, para calcular la ecuación de respuesta de las variables. También se empleo

el programa de diseños experimentales de la Facultad de Agronomía de la UANL, (Olivares, 1994).

3.3 Metodología.

Se establecieron criterios para la evaluación del diseño de celda del plato dosificador de semilla, siendo éstos:

- El criterio (1). Es el porcentaje de llenado de celdas, el cual debe ser del $100\pm 5\%$.
- El criterio (2). Debe existir una uniformidad del llenado de celdas en el rango de velocidades de trabajo en campo, con una diferencia significativa al 5%, indicado a través del análisis de varianza y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey.

Un indicador que afecta estos criterios es el porcentaje de las dimensiones de la celda sobre el de las semillas; así como los niveles de las fuerzas de succión. Para llevar a cabo la realización del trabajo, éste se dividió en tres etapas y a continuación se describe el método empleado para cada una:

3.3.1 Primera Etapa: Evaluación y validación de discos dosificadores de semilla.

Las pruebas consistieron en determinar el porcentaje de llenado de celdas de los diferentes platos de dosificación, para lo cual se establecieron los siguientes tratamientos:

- 4 tipos de semilla (maíz bola, maíz plano medio, maíz plano grande y soya).
- Un nivel de succión: 3.72 KPa (15 pulgadas de agua).
- 6 rangos de velocidad de rotación para el plato dosificador (Anexo I):
 - Plato con 30 celdas: 1.5, 2.1, 2.7, 3.3, 3.9 y 4.5 Hz.
 - Plato con 40 celdas: 1.5, 1.9, 2.3, 2.7, 3.1 y 3.5 Hz.
 - Plato con 80 celdas: 1.5, 2.2, 2.9, 3.6, 4.3 y 5.0 Hz.
- 5 platos dosificadores de semilla con diferente tamaño de celda.

Se realizaron 10 repeticiones para cada tipo de semilla, utilizando para éstas los diferentes tipos de platos, cada repetición con una duración de 60 segundos.

a. Medición de la semilla.

El objetivo de medir las semillas fue el de tener como referencia las dimensiones de éstas con respecto a la celda; es decir, sí el tamaño de la celda es mayor o menor para los diferentes tipos de semillas.

Se recolectaron semillas de maíz bola, maíz plano medio, maíz plano grande y soya durante las pruebas. Se formaron 10 grupos, cada uno con 50 semillas y con la ayuda de un vernier se procedió a tomar las medidas de cada semilla (largo, ancho, espesor). Posteriormente se calculo la media, la desviación estándar (S.D.) y el coeficiente de variación (C.V.) para cada grupo.

b. Dimensiones de las celdas.

Los platos de dosificación de semilla están hechos de Nylamid, que es un material resistente al impacto y es más fácil de maquinar que el bronce o el acero. Con la ayuda de un venier se midieron el diámetro del plato, de centro a centro del área de succión y el diámetro de succión; y al azar se escogieron 4 celdas de cada plato para tomar sus dimensiones (el largo, el ancho, la profundidad y la pendiente) de cada celda.

c. Verificación de la eficiencia de sensores.

Este análisis consistió en examinar que los sensores empleados en las pruebas funcionaran correctamente, para lo cual fue necesario realizar el siguiente procedimiento:

- Durante las pruebas realizadas al azar se recolectaron 4 grupos de semillas expulsadas por el sistema dosificador durante 60 segundos. Posteriormente se contaron manualmente las semillas.
- En el formato utilizado en las pruebas, se anotaron el número de semillas registradas por el contador y el número de semillas contadas manualmente. Se procedió a calcular el porcentaje empleando la siguiente fórmula:

$$\%E = \frac{SC - SM}{SM} * 100$$

Donde:

%E = es el margen de error del sensor.

SC = número de semillas registradas por el contador.

SM = número de semillas contadas manualmente.

- d. Porcentaje de las dimensiones de las celdas con respecto al tamaño promedio de las semillas.

Consistió en especificar el porcentaje del tamaño de las celdas en relación con el tamaño promedio de las semillas y posteriormente redimensionar el tamaño de la celda.

El porcentaje se determinó de la siguiente manera:

$$\% DC / S = \frac{L_s}{\left(\bar{L} + C.V. \right)} * 100$$

$$\% DC / S = \frac{A_s}{\left(\bar{A} + C.V. \right)} * 100$$

$$\% DC / S = \frac{P_s}{\left(\bar{E} + C.V. \right)} * 100$$

Donde:

$\%DC/S$ = **porcentaje del tamaño de las celdas en relación con el tamaño promedio de las semillas.**

$L_s = L_{m\ celda} - \bar{L}_{semilla} \cdot L_{m\ celdas}$, **pendiente de la celda y \bar{L} , largo promedio de las semillas.**

$A_s = A_{celda} - \bar{A}_{semilla} \cdot A_{celda}$, **ancho de la celda y $\bar{A}_{semilla}$, ancho promedio de las semillas.**

$P_s = P_{celda} - \bar{E}_{semilla} \cdot P_{celda}$, **profundidad de la celda y $\bar{E}_{semilla}$, espesor de la semilla.**

e. **Determinación del porcentaje de llenado de celdas.**

A continuación se describe cómo opera el sistema para determinar el porcentaje de llenado de celdas (Figura 3.7):

- **El variador de frecuencia recibe un voltaje de 220 Volts y pone en marcha al motor. El eje del motor le proporciona movimiento al reductor de velocidad 1:35 y posteriormente al segundo reductor 1:36 logrando así la rotación del plato dosificador de semilla. Por otro lado, los sensores son colocados en su lugar correspondiente y conectados a un multiconector, que es el que le enviará las señales al contador digital.**
- **Se colocó el plato a evaluar sobre el eje y se llenó la tolva con la semilla.**

- Se programó el variador de frecuencia a la velocidad que se iba a trabajar y se puso en marcha el motor e inmediatamente después se encendió el sistema de aspiración.
- Las pruebas tuvieron una duración de 60 segundos, cada una con 10 repeticiones.
- La semilla fue descargada pasando por el sensor de semilla, cortando el haz de luz de este y produciendo una señal digital que es enviada al contador. Por otra parte, el sensor de desplazamiento es el que se encargó de medir el desplazamiento y enviar una señal al contador.



Figura 3.7 Pruebas para determinar el porcentaje de llenado de celdas

Una vez realizadas todas las pruebas para los diferentes platos de dosificación, se procedió a hacer el análisis de los datos. Primero, se capturaron los datos obtenidos en las pruebas y posteriormente con la ayuda del software “MINITAB” se obtuvo la ecuación de respuesta. El análisis de los resultados se realizó empleando el método estadístico diseño completamente al azar con 6 tratamientos y 10 repeticiones. Las pruebas de llenado de celdas fueron analizadas utilizando la comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5%, empleando el programa de diseños experimentales de la Facultad de Agronomía de la UANL, (Olivares, 1994).

3.3.2 Segunda Etapa: Variación del diámetro de succión.

Esta etapa consistió en variar el diámetro de succión original del plato con 3 celdas, manteniendo el diseño de la celda original. Esto se hizo con la finalidad de eliminar posibles excesos o falta de llenado de celdas. De

acuerdo a la fórmula $P = \frac{F}{A}$, se mantuvo constante la presión y se cambió el área de succión.

a. Plato con 3 celdas.

Primero, el plato fue barrenado a 4.3 mm (11/64") y luego a 3.9 mm (5/32") de diámetro de succión (Figura 3.8). Se realizaron las pruebas para determinar el porcentaje de llenado de celdas, utilizando la misma metodología de la primera etapa descrita en el apartado (e) de este capítulo, a una velocidad de trabajo de 1.5 a 4.5 Hz a 3.72 KPa (15 pulgadas de agua) para maíz bola, maíz plano medio y plano grande. Esto fue para los dos diámetros.



Figura 3.8 Vista superior de la celda. Diámetro de succión A) 4.3 mm y B) 3.9 mm.

b. Plato con 4 celdas.

Se eligieron al azar 4 de las 40 celdas del plato evaluado en la primera fase. Estas celdas fueron barrenadas con un diámetro de succión de 3.9 mm (5/32") y se llevaron a cabo las pruebas para determinar el porcentaje de llenado de celdas empleando la metodología arriba mencionada. La velocidad de trabajo fue de 1.5 a 3.5 Hz a 3.72 KPa (15 pulgadas de agua) para los tres tipos de maíz.

3.3.3 Tercera Etapa: Rediseño de la celda.

Esta última fase se fundamentó en redimensionar el tamaño de celda, basándose en el tamaño promedio de las semillas. A continuación se describe el proceso que se siguió para obtener el patrón de celda que permitiera un $100\pm 5\%$ de llenado de celdas.

a. Descripción del método para obtener el modelo de celda.

Este procedimiento consistió en obtener el modelo de celda ideal, para lo cual fue necesario realizar los siguientes pasos:

1. **Con thinner, se limpió perfectamente la celda en donde se realizó el vaciado.**
2. **Se selló el diámetro de succión y se colocó cera en toda la celda y se esperó a que seque. Posteriormente, se aplicó la película separadora.**
3. **En un recipiente pequeño se preparó la solución (Figura 3.9). Primero, se mezcló la resina y se agregó cobalto en proporción de 50:1 y se revolvió. Segundo, se le agregó el catalizador, 50:1, y se procedió a hacer el vaciado (Figura 3.10).**
4. **Finalmente, se debe esperar de 15 a 20 minutos a que seque la nueva celda y se saca del plato dosificador de semilla.**
5. **Con una lija, se limó la superficie del nuevo modelo de celda hasta obtener las dimensiones requeridas de acuerdo al tamaño promedio de las semillas.**



Figura 3.9 Mezcla de soluciones



Fig. 3.10 Vaciado de la celda

b. Vaciado de celda en el plato dosificador.

Una vez que se tuvo el modelo de celda y con el vaciado, se logró uniformizar las celdas del plato dosificador de la siguiente manera:

1. Se pegó una moneda en la parte superior del modelo de celda (Figura 3.11), el objetivo es que la celda quede paralela al plato, para evitar que las celdas no queden uniformes. Después se aplicó cera y

película separadora alrededor de la celda (Figura 3.12) y se esperó a que se seque.



Figura 3.11 Celda adherida a la moneda



Figura 3.12 Aplicación de la cera

2. Se limpiaron todas las celdas, y el diámetro de succión debió estar sellado.
3. Sobre una lámina se mezclaron el relleno plástico y el endurecedor en una proporción de 50:1, respectivamente, y la mezcla se colocó dentro de la celda del plato. A continuación, se puso el molde de la celda y se presionó (Figura 3.13). Se esperó a que se seque la mezcla y se retiró el molde.



Fig. 3.13 Proceso para uniformar las celdas del plato dosificador de semilla.

- c. Primer modelo de celda.

Una vez que se tuvo el diseño de la celda, se evaluó el plato dosificador con las siguientes características:

Primero:

- **6 velocidades de trabajo: 1.5, 1.9, 2.3, 2.7, 3.1 y 3.5 Hz.**
- **Un nivel de succión: 3.72 KPa (15 pulgadas de agua) para los tres tipos de maíz.**
- **3.9 mm (5/32") de diámetro de succión.**

Segundo:

- **6 velocidades de trabajo, en un rango de 1.5 a 3.5 Hz.**
- **2 niveles de succión:**
 - **maíz bola, 4.47 KPa (18 pulgadas de agua)**
 - **maíz plano medio, 2.98 KPa (12 pulgadas de agua)**
- **3.9 mm (5/32") de diámetro de succión.**

Para estas pruebas, se siguió el mismo procedimiento descrito en el apartado 3.2.1 (e) de este capítulo.

d. Segundo modelo de celda.

Se hizo un segundo diseño de celda, modificando nuevamente las dimensiones de la celda. Esta modificación se realizó siguiendo el procedimiento del apartado 3.2.3 (a) y (b) de este capítulo.

Se valoró nuevamente el plato dosificador con las siguientes variables:

- **6 velocidades de trabajo, 1.5 a 3.5 Hz.**
- **3 niveles de succión:**
 - **maíz bola, 3.72 KPa (15 pulgadas de agua)**
 - **maíz plano medio, 2.48 KPa (10 pulgadas de agua)**

- maíz plano grande, 3.72 KPa (15 pulgadas de agua)
- 3.9 mm (5/32”) de diámetro de succión.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Tamaño de las semillas.

Los resultados que se muestran a continuación fueron los obtenidos de la medición de las semillas. Los valores medidos en (mm) fueron largo, ancho y espesor. La media, la desviación estándar (S.D.) y el coeficiente de variación (C.V.) para cada tipo de semilla empleada durante la evaluación, se muestran en las tablas 4.1 al 4.4.

Tabla 4.1 Variables del tamaño de maíz bola.

Dimensiones	Media (mm)	S.D.	C.V. (%)
Largo	9.4	0.02	2.24
Ancho	8.5	0.06	6.95
Espesor	7.1	0.09	12.01

Tabla 4.2 Variables del tamaño de maíz plano medio.

Dimensiones	Media (mm)	S.D.	C.V. (%)
Largo	9.9	0.04	3.64
Ancho	8.1	0.02	2.66
Espesor	4.1	0.01	3.32

Tabla 4.3 Variables del tamaño de maíz plano grande.

Dimensiones	Media (mm)	S.D.	C.V. (%)
Largo	11.4	0.02	1.65
Ancho	8.8	0.02	4.18
Espesor	4.4	0.02	1.85

Tabla 4.4 Variables del tamaño de soya.

Dimensiones	Media (mm)	S.D.	C.V. (%)
Largo	7.6	0.02	2.55
Ancho	6.6	0.02	3.77
Espesor	5.7	0.02	2.92

En general, se hizo una buena selección de la semilla utilizada en las pruebas, tanto en longitud, ancho y espesor, ya que el coeficiente de variación fue menor al 5 %; a excepción del maíz bola, donde el ancho y espesor tuvieron un C.V. de 6.95% y 12.01%, respectivamente.

La Tabla 4.5 indica el peso promedio de 100 semillas de los diferentes tipos de maíz empleados en las pruebas; así como también, la fuerza que experimenta la partícula (semilla) calculada aplicando la segunda Ley de Newton ($F = ma$).

Tabla 4.5 Peso de la semilla y la fuerza de succión.

Semilla	Media (peso, g)	S.D.	F (Newton)
Maíz Bola	39.33	0.58	0.3858
Maíz Plano Medio	26.67	0.58	0.2616
Maíz Plano Grande	33.33	0.58	0.3269

4.3 Dimensiones de las celdas y de los platos dosificadores.

La Figura 4.1 indica la representación esquemática de una de las celdas utilizadas en un plato.

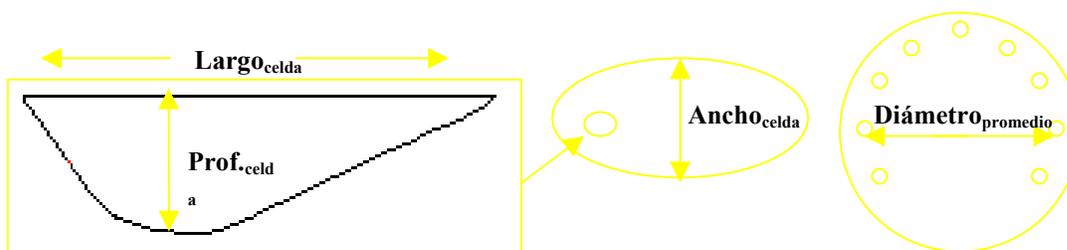


Figura 4.1 Perfil del diseño de celda original.

Los resultados mostrados en la Tabla 4.6 indican los valores promedios de las dimensiones para cada tipo de celda utilizada en los platos dosificadores de semilla; así como también, el diámetro de succión.

Tabla 4.6 Dimensiones de los platos y las celdas.

PLATO	Diámetro medio _{plato} (mm)	Diámetro _{succión} (mm)	L _{celda} (mm)	A _{celda} (mm)	Prof. _{celda} (mm)	P _{celda} (%)
3 celdas	217	2.7	14.1	11.4	4.1	30.59
30 celdas "A" ⁺	217	3.9	18.0	13.1	5.6	36.36
30 celdas "B" ⁺	217	2.7	12.0	10.7	5.4	35.06
40 celdas	203	2.7	19.3	12.3	5.3	42.06
80 celdas	204	2.7	13.1	8.70	4.0	35.71

⁺ Se utilizó la variable A y B para diferenciar el tamaño de la celda de un plato con respecto del otro.

4.4 Porcentaje de las dimensiones de las celdas con respecto al tamaño promedio de las semillas.

Las siguientes tablas sirvieron para redimensionar el tamaño de la celda en longitud, ancho y profundidad, con la finalidad de disminuir el número de semillas dobles por celda y así lograr un 100±5% de llenado de celdas.

Tabla 4.7 Porcentaje de las dimensiones de las celdas en un plato de 3 celdas.

Plato 3 celdas	Maíz Bola	Maíz Plano Medio	Maíz Plano Grande
% Longitud	41.58	34.30	33.62
% Ancho	31.52	39.76	28.89
% Profundidad	-36.14 [*]	0.00	-6.25 [*]

^{*} El signo negativo indica que el espesor de la semilla fue más grande que la profundidad de la celda.

Tabla 4.8 Porcentaje de las dimensiones de las celdas en un plato de 30 celdas "A".

Plato 30 celdas "A"	Maíz Bola	Maíz Plano Medio	Maíz Plano Grande
% Longitud	61.60	53.16	33.62
% Ancho	49.46	59.64	47.22
% Profundidad	-18.67*	32.95	23.96

Tabla 4.9 Porcentaje de las dimensiones de las celdas en un plato de 30 celdas "B".

Plato 30 celdas "B"	Maíz Bola	Maíz Plano Medio	Maíz Plano Grande
% Longitud	61.34	52.91	33.62
% Ancho	23.64	31.02	20.83
% Profundidad	-21.08*	28.41	19.79

Tabla 4.10 Porcentaje de las dimensiones de las celdas en un plato de 40 celdas.

Plato 40 celdas	Maíz Bola	Maíz Plano Medio	Maíz Plano Grande
% Longitud	32.47	25.73	9.91
% Ancho	41.30	50.60	38.89
% Profundidad	-22.29*	26.14	17.71

Tabla 4.11 Porcentaje de las dimensiones de las celdas en un plato de 80 celdas.

Plato 80 celdas	Soya
% Longitud	44.94
% Ancho	30.36
% Profundidad	-28,81*

Tabla 4.12 Equivalencia de las variables de velocidad de siembra-velocidad del plato dosificador, en un plato de 30 y 3 celdas para maíz. Referenciadas a la frecuencia (Hz) de giro del motor eléctrico del banco de pruebas.

Hz	PLATO DE 30 CELDAS		PLATO DE 3 CELDAS	
	km h ⁻¹	celdas min. ⁻¹	celdas min. ⁻¹	metros min. ⁻¹
1.5	2.6	437	44	10
2.1	3.7	612	61	14
2.7	4.8	787	79	18
3.3	5.8	962	96	22
3.9	6.9	1137	114	26
4.5	8.0	1312	131	30

Tabla 4.13 Equivalencia de las variables de velocidad de siembra-velocidad del plato dosificador, en un plato de 40 y 4 celdas para maíz. Referenciadas a la frecuencia (Hz) de giro del motor eléctrico del banco de pruebas.

Hz	PLATO DE 40 CELDAS		PLATO DE 4 CELDAS	
	km h ⁻¹	celdas min. ⁻¹	celdas min. ⁻¹	metros min. ⁻¹
1.5	3.5	583	58	9
1.9	4.4	739	79	12
2.3	5.4	894	89	14
2.7	6.3	1050	105	17
3.1	7.2	1205	121	19
3.5	8.2	1361	136	22

Tabla 4.14 Equivalencia de las variables de velocidad de siembra-velocidad del plato dosificador, en un plato de 80 celdas, para soya y frijol. Referenciadas a la frecuencia (Hz) de giro del motor eléctrico del banco de pruebas.

Hz	PLATO DE 80 CELDAS			metros min. ⁻¹
	km h ⁻¹	celdas min. ⁻¹	celdas min. ⁻¹	
1.5	2.4	1166	9.3	
2.2	3.5	1710	13.7	
2.9	4.6	2255	18.0	
3.6	5.7	2799	22.4	
4.3	6.8	3343	26.7	
5.0	8.0	3888	31.4	

Las tablas 4.12, 4.13 y 4.14 indican la equivalencia que existe entre la velocidad de trabajo bajo condiciones de laboratorio (Hz), la velocidad de siembra en campo (km h⁻¹), y las celdas y metros por minuto para los diferentes platos empleados en las pruebas.

4.5 Verificación de la eficiencia de sensores

La Tabla 4.15 muestra el porcentaje de error del sensor de semilla a diferentes velocidades de trabajo bajo condiciones de laboratorio. El error

más alto fue a una velocidad de 3.9 Hz. En general, la confiabilidad del sensor fue mayor al 98%, lo que indica que los datos registrados en el contador digital, por el sensor de semilla como el de desplazamiento fueron confiables.

Cuadro 4.15 Porcentaje de error del sensor de semilla a diferentes velocidades.

Velocidad (Hz)	Semillas Contador	Semillas Manual	Error (%)
1.5	369	364	1.4
2.1	566	565	0.1
2.7	719	722	0.5
3.3	918	934	1.6
3.9	1088	1111	2.1
4.5	1250	1260	0.8

4.6 Resultados de las pruebas.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de los diferentes platos dosificadores de semilla, para determinar el porcentaje de llenado de celdas basándose en los criterios previamente establecidos en el capítulo III apartado 3.2.

4.6.1 Primera Etapa.

Esta primera etapa comprende la evaluación del funcionamiento del diseño original de los platos dosificadores de semilla con diferente tamaño de celda, los cuales se encuentran descritos en la sección 4.3. Cabe mencionar, que sólo se tomaron los criterios (1) y (2), donde:

- El criterio (1). Es el porcentaje de llenado de celdas, el cual debe ser del $100\pm 5\%$.
- El criterio (2). Debe existir una uniformidad del llenado de celdas en el rango de velocidades de trabajo en campo, con una diferencia no

significativa al 5%, indicado a través del análisis de varianza y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey.

Un indicador que afecta estos criterios es el porcentaje de las dimensiones de la celda, sobre el de las semillas; así como los niveles de las fuerzas de succión.

a) Plato con 30 celdas "A". Las dimensiones de la celda se encuentran en la Tabla 4.5 de este capítulo.

a.1) Resultados con maíz bola*. Conforme a los criterios y de acuerdo la Figura 4.2 este tipo de celda se rechazó para la gama de velocidades menores a 2.1 Hz y mayores a 3.3 Hz que es un equivalente de 4 a 22 m min.⁻¹; lo cual representa una velocidad de siembra en campo de 3.7 y 5.8 km h⁻¹.

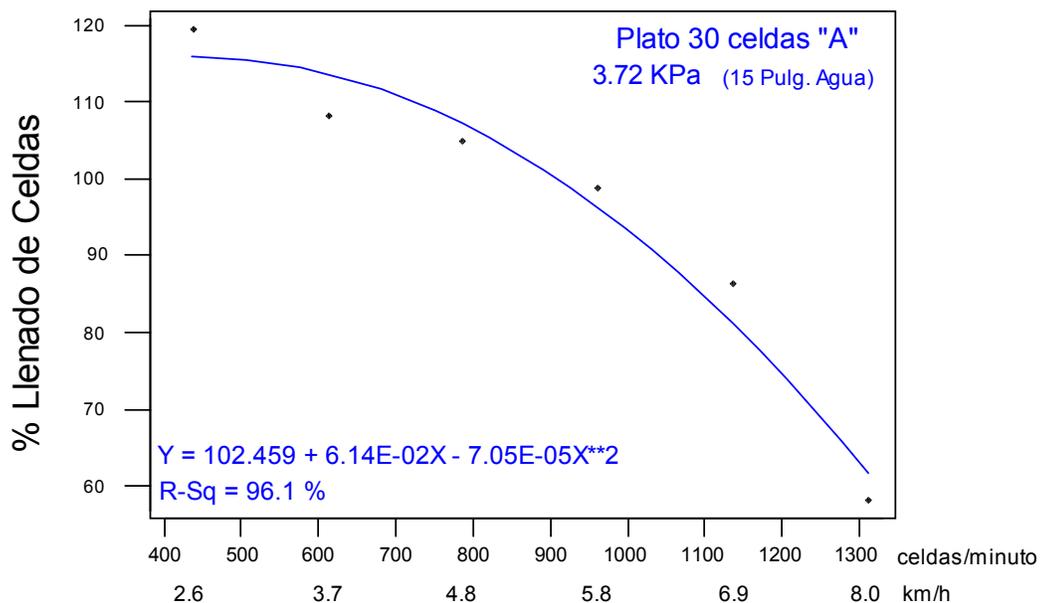


Figura 4.2 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 30 celdas "A" probado con maíz bola.

La Tabla 4.16 muestra la comparación de medias del llenado de celdas, donde el rango aceptable es a velocidades de 612 a 962 celdas min.⁻¹, con una diferencia significativa del 5%. Acorde

a la Tabla 4.7 se tuvo un exceso de dimensiones de celda, 61.60% y 49.46 %, en longitud y ancho, respectivamente. En el caso de profundidad fue de (-) 18.67%; es decir, el espesor de la semilla fue más grande que la profundidad de la celda.

*El Análisis de Varianza se encuentra en el Anexo III.

Tabla 4.16 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz bola.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
437	119.48 A
612	108.30 B
787	104.87 B
962	98.74 C
1137	86.21 D
1312	58.12 E

C.V. 6.68 %. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%

a.2) Resultados con maíz plano medio*. Este plato se rechazó en ambos criterios. La Figura 4.3 muestra el porcentaje de llenado de celdas para cada velocidad; el cual fue alto en todas las velocidades de trabajo bajo condiciones de laboratorio de 1.5 a 4.5 Hz, es decir de 2.6 a 8.0 km h⁻¹.

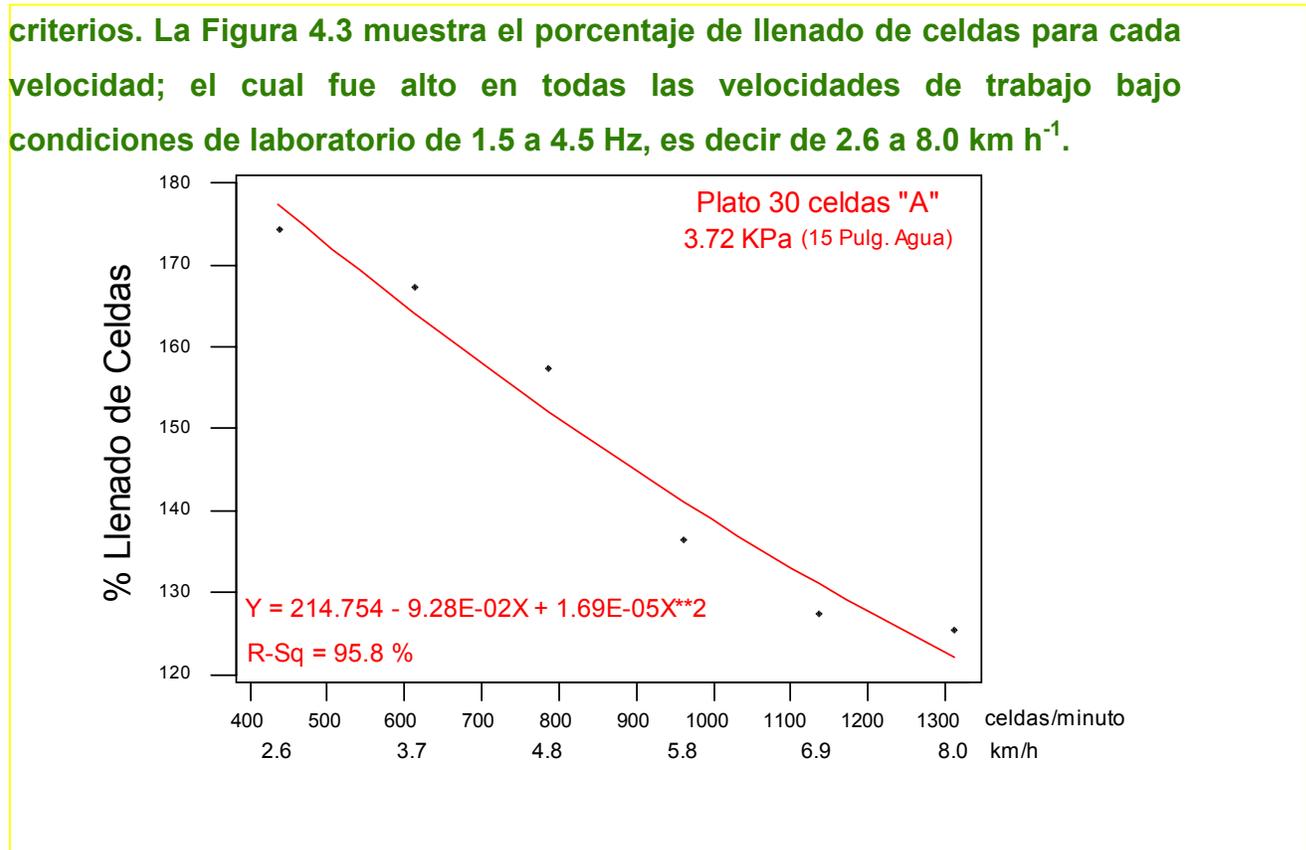


Figura 4.3 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 30 celdas “A” probado con maíz plano medio.

La comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas se muestra en la Tabla 4.17, la cual indica que a 437 celdas min^{-1} hay un llenado de celdas de 174.47% y que conforme aumenta el número de celdas min^{-1} disminuye dicho porcentaje hasta llegar a 125.29%. Con relación al tamaño de celda (Tabla 4.7) hubo un exceso de dimensiones mayores al 50% en longitud y en ancho con respecto al tamaño promedio de las semillas, siendo de 32.95% en profundidad.

Cuadro 4.17 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano medio.

celdas min^{-1}	MEDIA (% Llenado de Celdas)
437	174.47 A
612	167.34 B
787	157.49 C
962	136.31 D
1137	127.25 E
1312	125.29 E

C.V. 3.16%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%

a.3) Resultados con maíz plano grande*. La Figura 4.4 muestra la curva de respuesta del porcentaje de llenado de celdas y de acuerdo con el criterio (1) este diseño de celda se rechazó para todas las velocidades de 1.5 a 3.5 Hz, que es un equivalente a una velocidad de siembra en campo de 3.5 a 8.2 km h^{-1} .

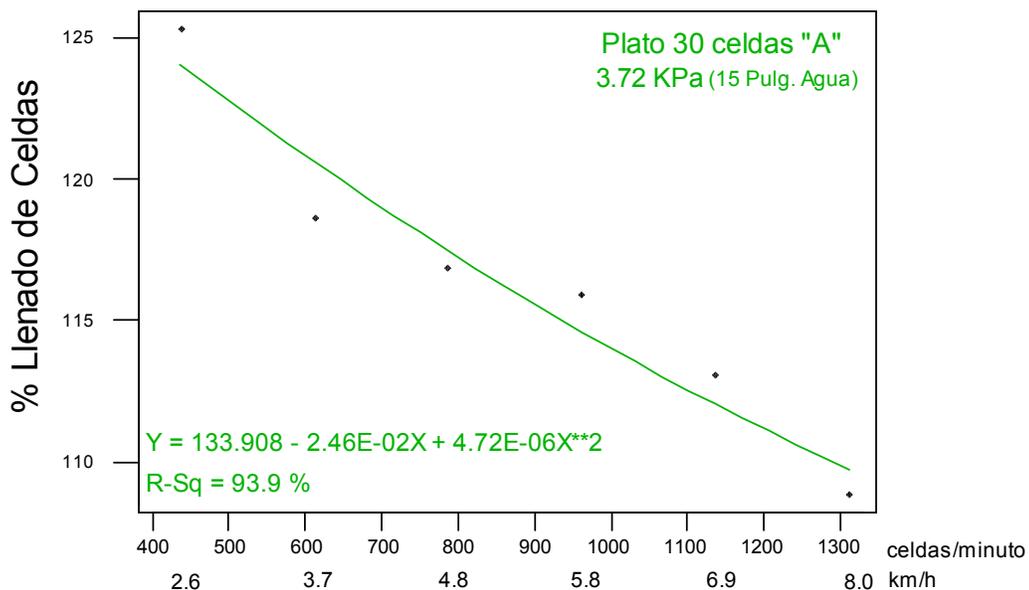


Figura 4.4 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 30 celdas “A” probado con maíz plano grande.

Se observa que a 437 celdas min.⁻¹ el promedio de llenado de celdas fue de 125.31% y conforme se va incrementado el número de celdas min.⁻¹ el llenado de celdas disminuye pero no llega al 100%, por lo cual se rechazó de acuerdo al criterio (2) como se muestra en el Cuadro 4.18. El exceso de dimensiones es mostrado en la Tabla 4.7 el mayor porcentaje se obtuvo en anchura que fue de 47.22%, mientras que en longitud fue de 33.62 y de 23.96% en profundidad.

Tabla 4.18 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano grande.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
437	125.31 A
612	118.65 B
787	116.84 B
962	115.90 BC
1137	113.05 C
1312	108.84 D

C.V. 2.8 %. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%

b) Plato con 30 celdas “B”. Las dimensiones de la celda se encuentran en el Cuadro 4.5, de este capítulo.

b.1) Resultados con maíz bola*. De acuerdo con los criterios indicados, este diseño de celda se rechazó para todas las velocidades de 1.5 a 4.5 Hz, que es un equivalente a 2.6 a 8.0 km h⁻¹, en virtud de tener un porcentaje de llenado de celdas menor al 70% como se muestra en la Figura 4.5.

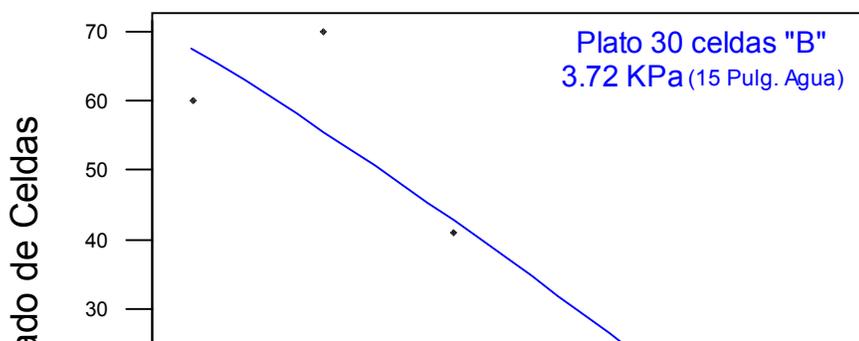


Figura 4.5 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 30 celdas "B" probado con maíz bola.

La Tabla 4.19 muestra la comparación de medias de llenado de celdas a velocidades de 437 a 1312 celdas min.⁻¹ y el rango fue de 68.8 a 3.86%, respectivamente, por lo que se rechazó de acuerdo al criterio (2).

Tabla 4.19 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz bola.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
437	68.80 A
612	57.47 B
787	39.38 C
962	23.55 D
1137	12.33 E
1312	3.86 F

C.V. 17.14%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

El tamaño de la celda fue mayor en longitud y anchura con respecto al tamaño promedio de la semilla, 61.34% y 23.64%. Referente a la profundidad, ésta fue de (-) 21.08% (Tabla 4.8). En general, este diseño de celda no cumplió con los criterios establecidos.

b.2) Resultados con maíz plano medio*. Con base al criterio (1) este diseño de celda se rechazó en un rango de velocidades de trabajo en campo de 2.6 a 4.8 km h⁻¹ que representa una velocidad de 18 a 26 m min.⁻¹, como se muestra en la Figura 4.6.

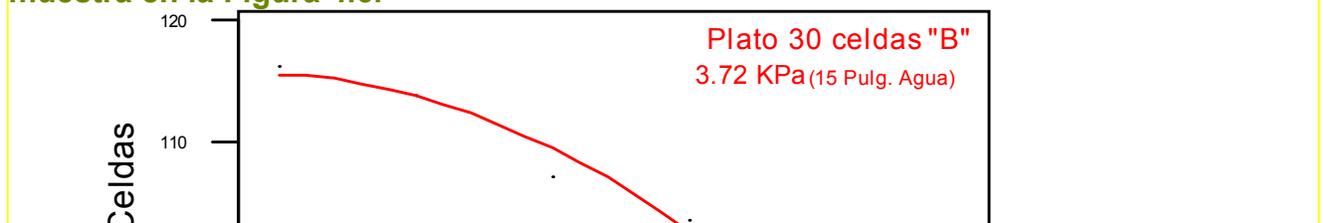


Figura 4.6 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 30 celdas “B”, probado con maíz plano medio.

Con relación al tamaño de la celda, está sobre dimensionada, con 52.91% en longitud, 31.02% en ancho y 28.41 en profundidad. La Tabla 4.20 muestra la comparación de medias de llenado de celdas en un rango de velocidades de 437 a 1312 celdas min.⁻¹ con un C.V. de 9.24%. Los mejores resultados de llenado de celdas fueron de 103.68% y 95.33% a velocidades de 962 y 1137 celdas min.⁻¹.

Tabla 4.20 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano medio.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
437	116.10 A
612	113.70 AB
787	107.07 BC
962	103.68 CD
1137	95.33 D

C.V. 9.24%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

b.3) Resultados con maíz plano grande*. De acuerdo a la Figura 4.7, este plato se rechazó, con este tipo de celda, en todas las velocidades de trabajo de 1.5 a 4.5 Hz en condiciones de laboratorio equivalente de 2.6 a 8.0 km h⁻¹.

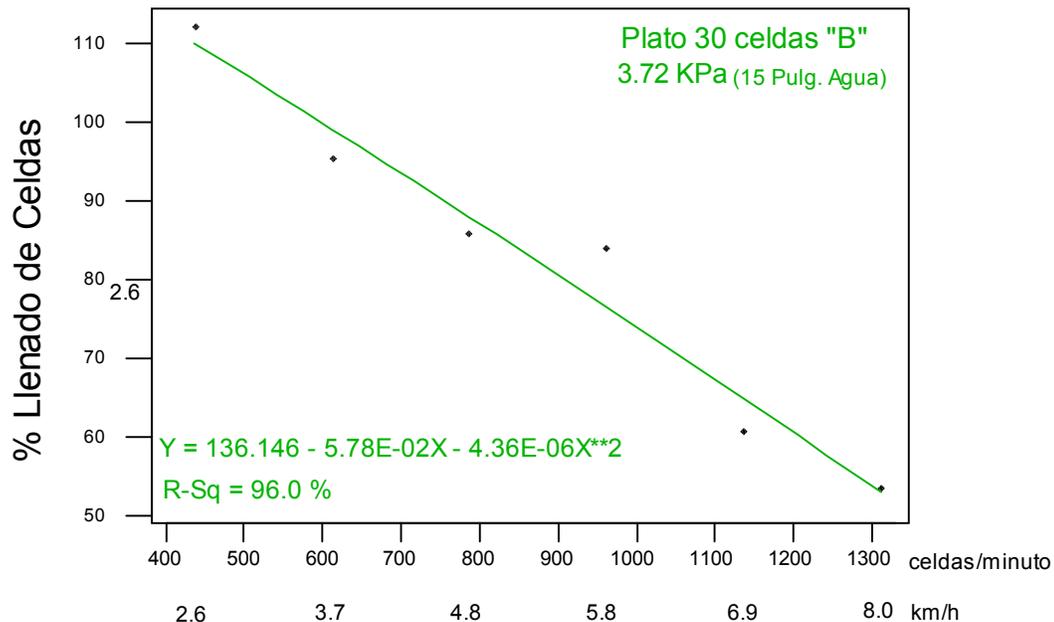


Figura 4.7 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 30 celdas "B" probado con maíz plano grande.

El exceso de dimensiones de la celda con respecto al tamaño promedio de las semillas fue de 33.62% en longitud, 20.83% de ancho y 19.79% en profundidad. La Tabla 4.21 indica el de llenado de celdas en cada velocidad, como se puede apreciar a 612 celdas min.⁻¹ se obtuvo un llenado de celdas de 95.45% y para las otras velocidades dicho porcentaje es menor a 100±5% con coeficiente de variación de 11.19%.

Tabla 4.21 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano grande.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
---------------------------	--------------------------------

437	112.17 A
612	95.45 B
787	85.81 C
962	83.88 C
1137	60.62 D
1312	53.30 D

C.V. 11.19 %. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

c) Plato con 3 celdas. Las dimensiones de la celda se encuentran en la Tabla 4.5 de este capítulo. Las velocidades seleccionadas para este plato fueron las consideradas para el plato con 30 celdas.

c.1) Resultados con maíz bola*. Con relación a los criterios y de acuerdo a la Figura 4.8, este plato se aceptó para velocidades de 2.7 a 4.5 Hz, que es un equivalente de 18 a 30 m min.⁻¹, lo cual representa una velocidad de siembra en campo de 2.7 a 8.0 km h⁻¹.

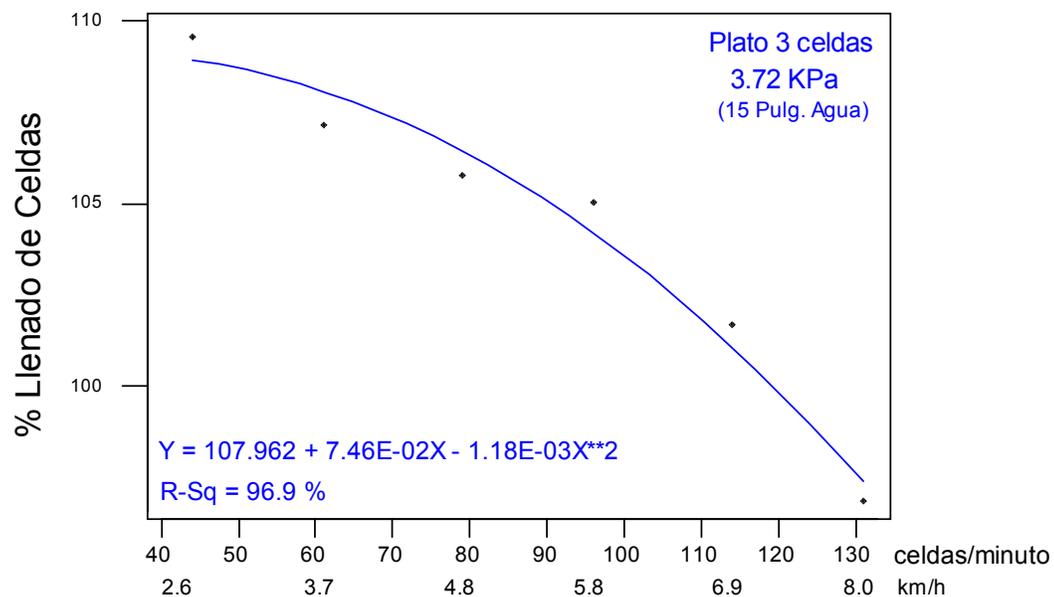


Figura 4.8 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 3 celdas probado con maíz bola.

En la Tabla 4.22 se muestra la comparación de medias, a velocidades de 79 a 131 celdas min.⁻¹, se obtuvo un de llenado

de celdas de 105.78 a 96.83%, lo cual satisface el criterio (2) con una diferencia significativa entre estos valores del 5%. La forma de la celda es mayor en longitud y anchura de 41.58% y 31.52%; mientras que, en profundidad se obtuvo un promedio de (1) 31.64%.

Tabla 4.22 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz bola.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
44	109.61 A
61	107.20 A
79	105.78 AB
96	105.06 AB
114	101.68 BC
131	96.83 C

C.V. 5.32%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

c.2) Resultados con maíz plano medio*. De acuerdo a los criterios, este plato **se rechazó** debido al exceso de llenado de celdas en todas las velocidades de trabajo en campo de 2.6 a 8.0 km h⁻¹ que equivale de 10 a 30 m min.⁻¹ (Figura 4.9)

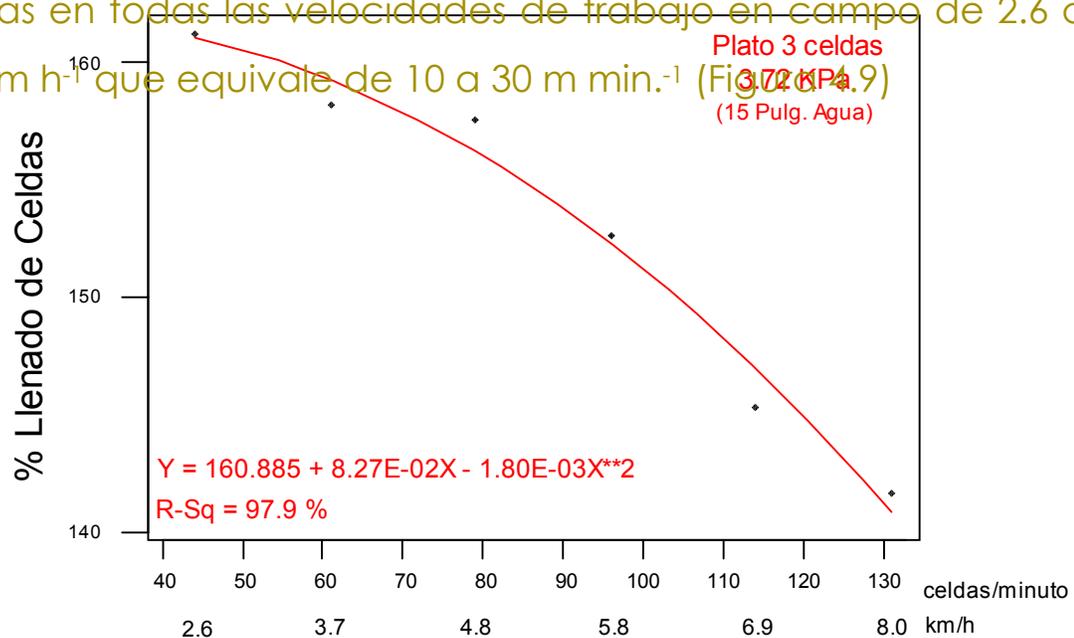


Figura 4.9 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 3 celdas, probado con maíz plano medio.

El exceso de llenado de celdas es mostrado en la Tabla 4.23, a una velocidad de 44 celdas min.⁻¹ el llenado de celdas fue de 161.24%; mientras que, conforme aumenta la velocidad hasta llegar a 131 celdas min.⁻¹ el porcentaje disminuyó a 141.51 con un C.V. de 5.96%. Con relación al exceso de dimensiones de la celda, en longitud fue de 34.58%, 39.76% de ancho y en profundidad fue de 0%.

Tabla 4.23 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano medio.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
44	161.24 A
61	158.18 AB
79	157.58 AB
96	152.66 BC
114	145.30 CD
131	141.62 D

C.V. 5.96%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

c.3) Resultados con maíz plano grande*. La Figura 4.10 muestra

la curva de respuesta del llenado de celdas de cada velocidad. Este plato **se rechazó** para velocidades de 1.5 a 3.9 Hz, que equivale de 10 a 26 m min.⁻¹, respectivamente. Lo cual representa una velocidad de siembra en campo de 2.6 a 6.9 km h⁻¹.

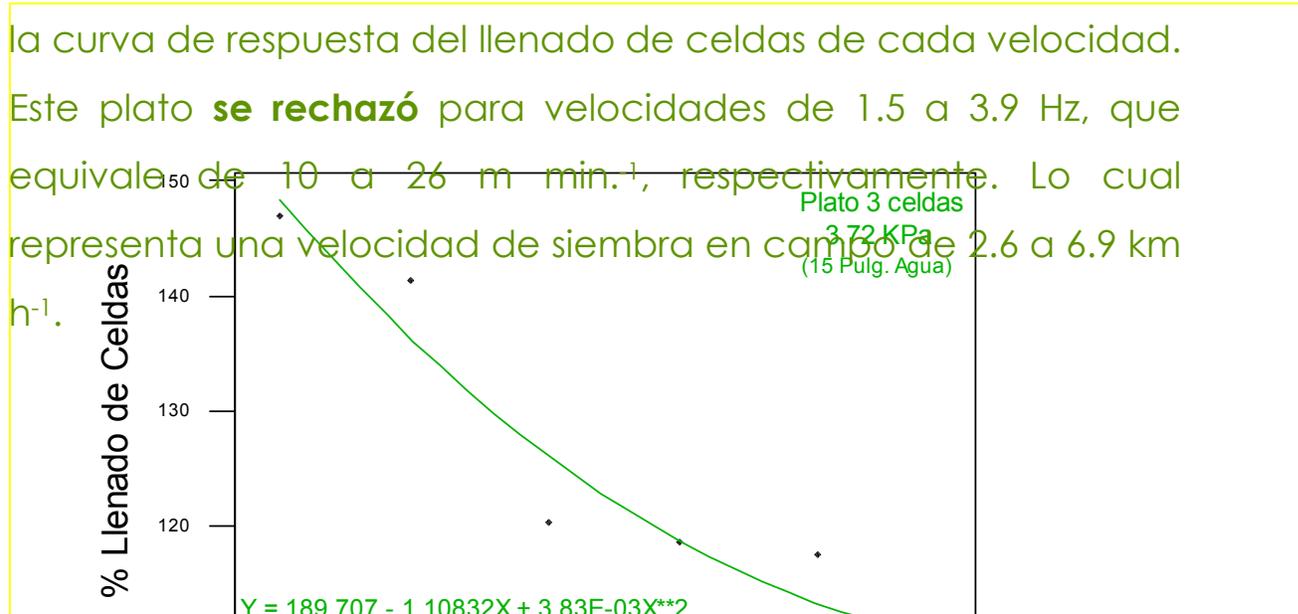


Figura 4.10 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 3 celdas probado con maíz plano grande.

La comparación de medias del llenado de celdas es mostrada en la Tabla 4.24 para una velocidad de 44 celdas min.⁻¹ el llenado de celdas fue de 147.10% y conforme se aumentó la velocidad hasta llegar a 114 celdas min.⁻¹ el llenado de celdas fue de 117.36%, lo cual no satisface el criterio (2) para una diferencia significativa del 5%. En dimensiones de celda fueron, en longitud, 33.62%, y en ancho, 28.89, y con relación a profundidad fue de (-) 6.25%.

Tabla 4.24 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano grande.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
44	147.10 A
61	141.33 A
79	120.15 B
96	118.51 B

114
131

117.35 BC
108.33 C

C.V. 5.89%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

d) Plato con 40 celdas. Las dimensiones de la celda se encuentran en la Tabla 4.5 de este capítulo.

d.1) Resultados con maíz bola*. Con respecto a los criterios y a la Figura 4.11, este diseño de celda **se aceptó** para todas las velocidades de 1.5 a 3.5 Hz, equivalente de 9 a 22 m min.⁻¹; lo que representa una velocidad de siembra en campo de 3.5 a 8.2 km h.⁻¹.

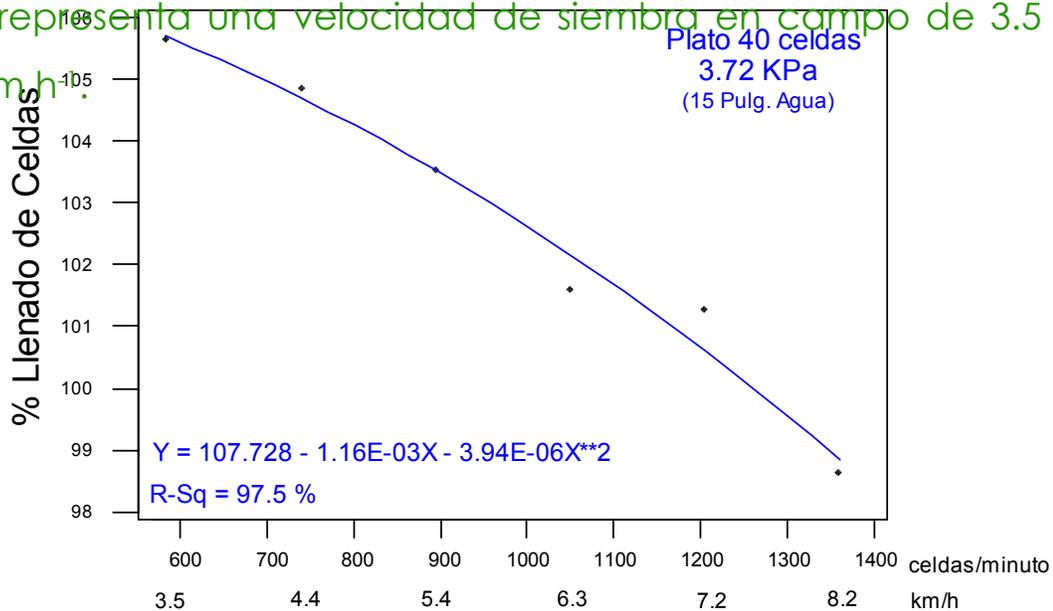


Figura 4.11 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 40 celdas probado con maíz bola.

En la Tabla 4.25 se observa el llenado de celdas, en un rango de velocidad de 583 a 1361 celdas min.⁻¹ se obtuvo un llenado de

celdas del $100 \pm 5\%$ en donde existe diferencia significativa entre las medias; sin embargo este rango está dentro del criterio (1) con un C.V. menor al 5%. El exceso de dimensiones fue de 32.47% en longitud, 41.30% en ancho y con una profundidad de (-) 22.29%.

Tabla 4.25 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz bola.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
583	105.67 A
739	104.88 AB
894	103.54 B
1050	101.60 C
1205	101.29 C
1361	98.61 D

C.V. 1.62%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

d.2) Resultados con maíz plano medio*. La Figura 4.12 muestra la curva de respuesta de los datos que se obtuvieron en un plato de 40 celdas probado con maíz plano medio. De acuerdo a los criterios, este plato con este diseño de celda **se rechazó** en todas sus velocidades de trabajo de 1.5 a 3.5 Hz, que representa una velocidad de siembra en campo de 3.5 a 8.2 km h⁻¹.

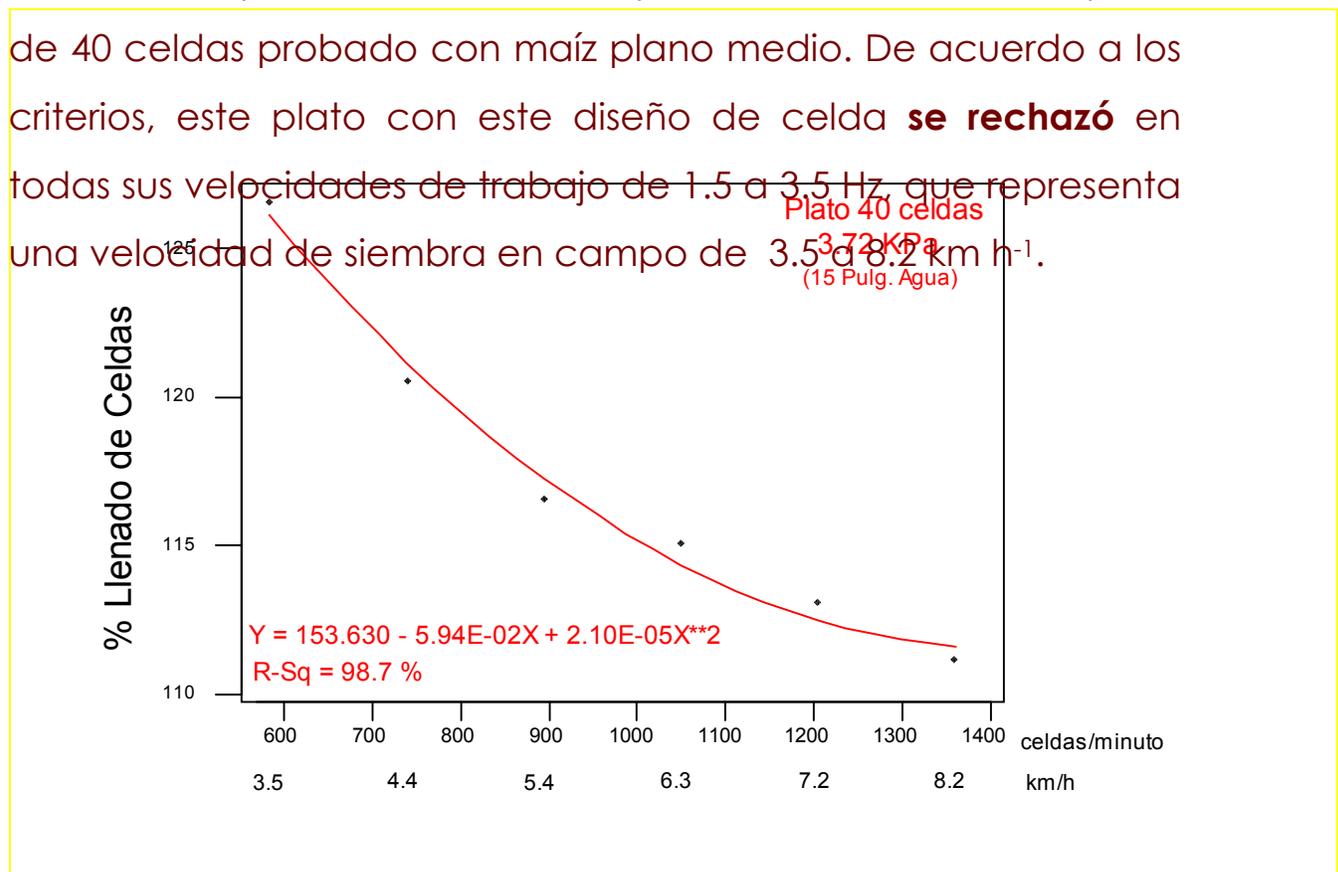


Figura 4.12 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 40 celdas probado con maíz plano medio.

Debido al exceso de dimensiones de la celda, las cuales influyeron en el porcentaje de llenado de celdas y éstas fueron: longitud 25.73%, ancho 50.60% y profundidad 26.14%. Se observa en la Tabla 4.26 la comparación de medias con una diferencia significativa del 5%. El exceso de llenado de celdas fue en todas las velocidades de 583 a 1361 celdas min.⁻¹, equivalente de 126.60 a 111.10% respectivamente.

Tabla 4.26 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano medio.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
583	126.60 A
739	120.57 B
894	116.57 C
1050	115.04 CD
1205	113.05 DE
1361	111.10 E

C.V. 1.94. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

d.3) Resultados con maíz plano grande*. Este plato **se aceptó** para la gama de velocidades de 1.9 a 3.5 Hz equivalente de 9 a 22 m min.⁻¹, respectivamente; es decir, una velocidad de siembra en campo de 4.4 a 8.2 km h⁻¹. (Figura 4.13)

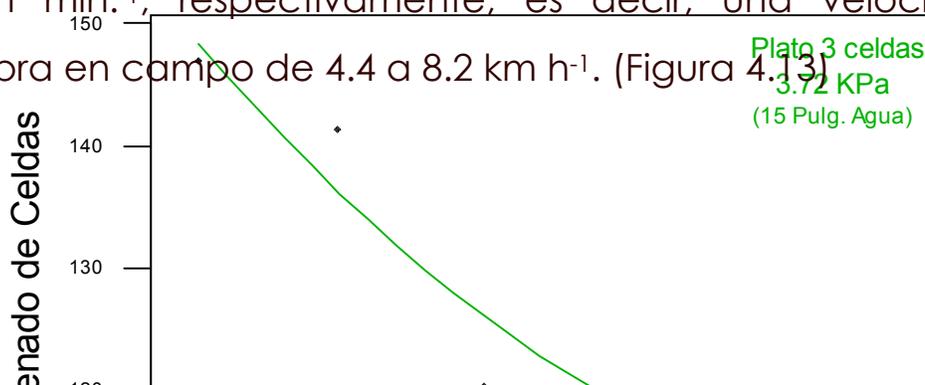


Figura 4.13 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 40 celdas probado con maíz plano grande.

La comparación de medias se muestra en la Tabla 4.27, el porcentaje de llenado de celdas se acercó al $100\pm 5\%$ en todas las velocidades, de 739 a 1361 celdas min^{-1} con un C.V. de 1.66%. Con respecto a las dimensiones de la celda, el porcentaje más alto se obtuvo en lo ancho de la celda que fue de 38.89%; mientras que en longitud fue de 9.91% y 17.71 en profundidad.

Tabla 4.27 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano grande.

celdas min^{-1} .	MEDIA (% Llenado de Celdas)
583	106.94 A
739	104.92 B
894	103.39 BC
1050	103.02 C
1205	102.52 C
1361	102.17 C

C.V. 1.66%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

e) Plato con 80 celdas. Las dimensiones de la celda se encuentran en la Tabla 4.5 de este capítulo.

e.1) Resultados con soya*. Este plato se rechazó en todas sus velocidades de trabajo de 1.5 a 5.0 Hz; que representa una velocidad de siembra en campo de 2.4 a 8.0 km h⁻¹. (Figura 4.14)

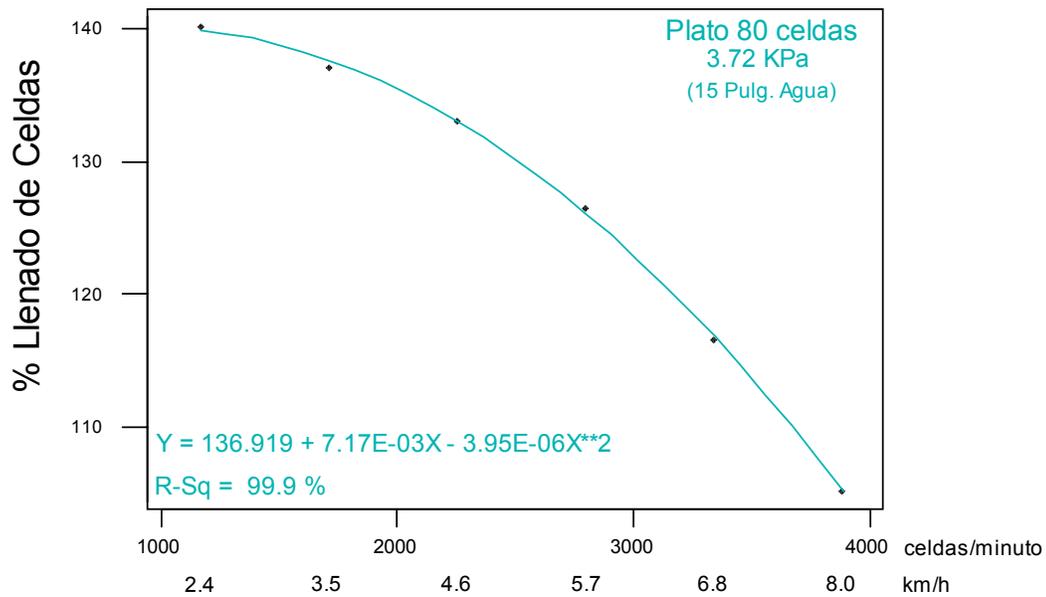


Figura 4.14 Porcentaje de llenado de celdas de un plato con 80 celdas probado con soya. **La razón por la que se rechazó este diseño de celda, se debió al exceso de llenado de celdas en casi todas las velocidades. En la Tabla 4.28 se aprecia que para velocidades bajas 1166 celdas min.⁻¹ el porcentaje fue de 140.17 y conforme aumenta la velocidad hasta 3343 celdas min.⁻¹ el llenado de celdas disminuyó a 116.56%.**

Tabla 4.28 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, soya.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
1166	140.17 A
1710	137.12 B
2255	133.08 C
2799	126.51 D

3343
3888

116.56 E
105.13 F

C.V. 1.55%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

Con respecto al exceso de dimensiones de la celda, en longitud fue de 44.94%, 30.36% de ancho y con un profundidad de (-) 28.31%; es decir, el espesor de la semilla fue mayor que la profundidad de la celda.

4.6.2 Segunda Etapa.

El objetivo de variar el diámetro de succión fue para tratar de disminuir el número de semillas dobles por celda que pasaban a lo largo de las pruebas, probando los diferentes tipos de maíz. Para determinar el porcentaje de llenado de celdas, se tomaron en cuenta los criterios (1) y (2).

a) Diámetro de succión 4.3 mm. Se varió el diámetro de succión original de 2.7 mm a 4.3 mm del plato de 3 celdas utilizado en la primera etapa.

a.1) Resultados con maíz bola*. La Figura 4.15, indica la curva de respuesta del llenado de celdas en cada velocidad de trabajo; se observa que en un rango de velocidades de 4.8 a 6.9 km h⁻¹, el llenado de celdas no cumple con el criterio (1), por lo que se rechazó este diseño de celda. La Tabla 4.29, indica la comparación de medias y a velocidades de 44 y 61 celdas min.⁻¹ el llenado de celdas fue de 101.33% y 96.33%, respectivamente, no existiendo diferencia significativa entre estos dos valores.

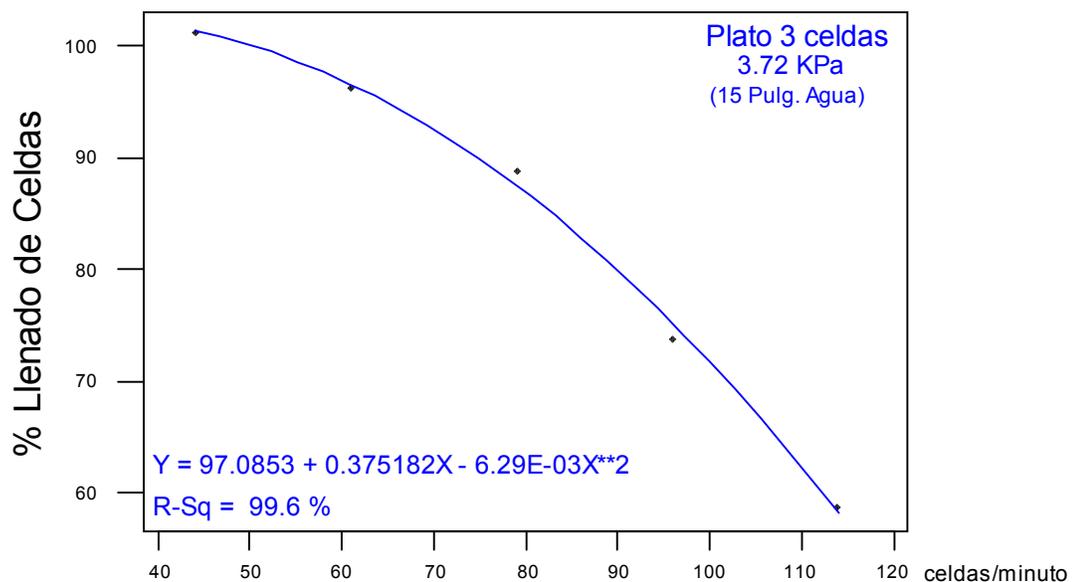


Figura 4.15 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión 4.3 mm probado con maíz bola.

Tabla 4.29 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz bola.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
44	101.33 A
61	96.33 A
79	88.83 B
96	73.65 C
114	58.67 D

C.V. 6.94%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

Referente al diámetro de succión, no fue el adecuado para lograr un 100±5%, en un rango de velocidades de 79 a 114 celdas min.⁻¹.

a.2) Resultados con maíz plano medio*. **Este diseño de celda se rechazó con un diámetro de succión de 4.3 mm para velocidades de 1.5 a 3.3 Hz equivalente de 10 a 22 m min.⁻¹; lo que representa una velocidad de siembra en campo de 2.6 a 5.8 km h⁻¹. (Figura 4.16)**

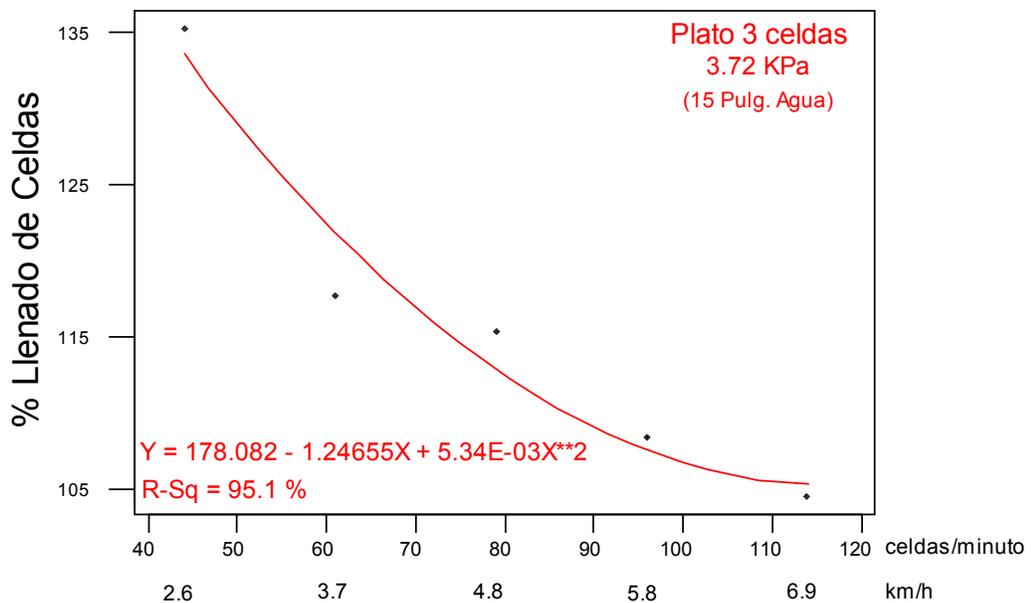


Figura 4.16 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión 4.3 mm probado con maíz plano medio.

El porcentaje de llenado de celdas se muestra en la Tabla 4.30, se observa que en las velocidades de 44 a 96 celdas min.⁻¹ el llenado de celdas para cada velocidad fue superior al 100±5%, es decir, este plato no cumplió con los dos criterios establecidos.

Tabla 4.30 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano medio.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
44	135.29 A
61	117.72 B
79	115.38 B
96	108.38 C
114	104.52 C

C.V. 4.19%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

a.3) Resultados con maíz plano grande*. **Con relación al criterio (1) y la Figura 4.17, la cual indica el llenado de celdas con un diámetro de succión de 4.3 mm; este diámetro de succión se rechazó para velocidades bajo condiciones de laboratorio de 1.5 a 3.3 Hz, es decir, a velocidades de siembra en campo de 2.6 a 5.8 km h⁻¹.**

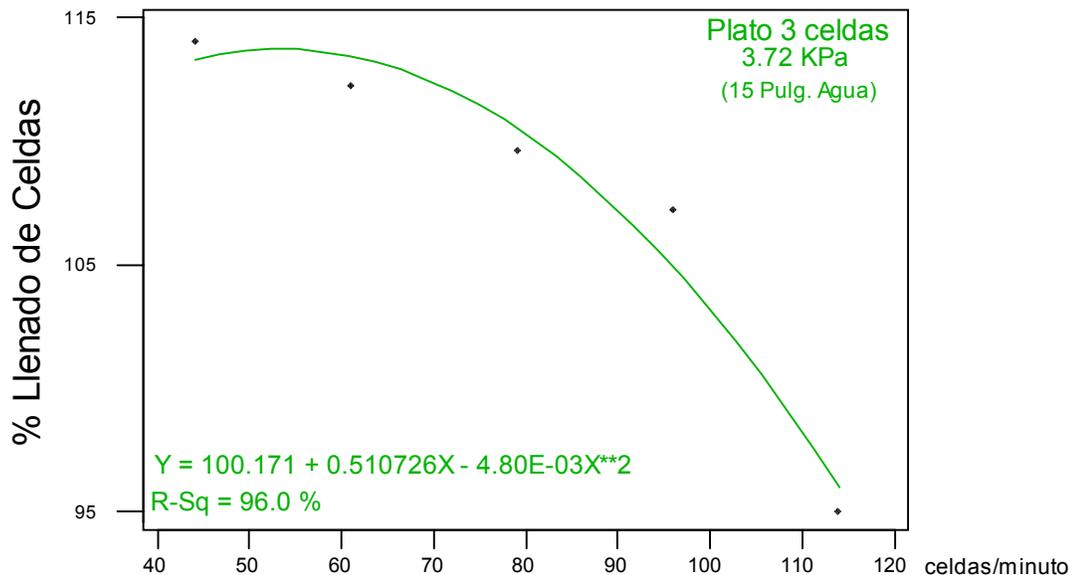


Figura 4.17 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión 4.3 mm probado con maíz plano grande.

Con relación al criterio (2) la comparación de medias se muestra en el Cuadro 4.31, en donde el rango de llenado de celdas se mantuvo de 114.09 a 107.24%, para velocidades de 44 a 96 celdas min.⁻¹; mientras que para una velocidad de 114 celdas min.⁻¹ el promedio de llenado de celdas fue del 95% con un C.V. de 4.74%.

Tabla 4.31 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano grande.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
44	114.09 A
61	112.28 AB
79	109.65 AB
96	107.24 B
114	95.00 C

C.V. 4.94%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

b) Diámetro de succión 3.9 mm. **Se varió el diámetro de succión original de 2.7 mm a 3.9 mm del plato con 3 celdas que se utilizó en la primera etapa cuyas dimensiones se encuentran en Tabla 4.5.**

b.1) Resultados con maíz bola*. **Este diámetro de succión se rechazó para velocidades mayores a 2.1 a 4.5 Hz equivalente a una velocidad de siembra en campo de 4.8 a 8.0 km h⁻¹, como se indica en la Figura 4.18; por lo que no satisface el criterio (1).**

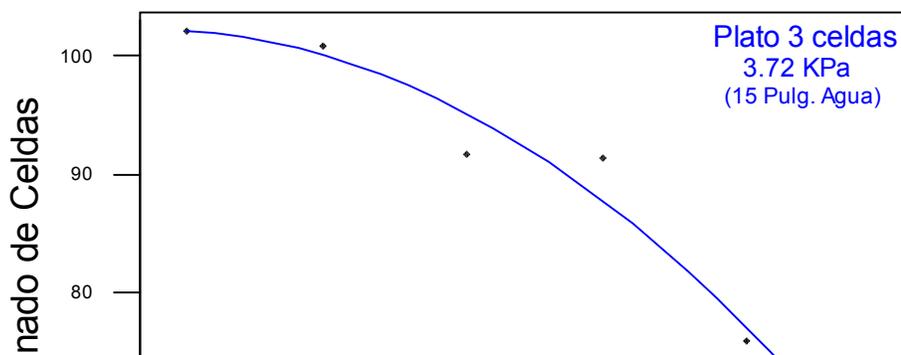


Figura 4.18 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión 3.9 mm probado con maíz bola.

La Tabla 4.32 muestra la comparación de medias y a velocidades mayores de 61 celdas min.⁻¹ el porcentaje de llenado de celdas fue inferior al 100±5%; habiendo diferencia significativa entre las medias; razón por la cual esta prueba se rechazó en ambos criterios.

Tabla 4.32 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz bola.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
44	102.20 A
61	100.93 A
79	91.69 B
96	91.35 B
114	75.93 C
131	64.11 D

C.V. 6.69%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

b.2) Resultados con maíz plano medio*. La curva de respuesta se muestra en la **Figura 4.19**. Este diámetro de succión se rechazó en todas las velocidades de 1.5 a 4.5 Hz, equivalente de 10 a 30 m min.⁻¹; lo anterior representa una velocidad de siembra en campo de 2.6 a 8.0 km h⁻¹, respectivamente.

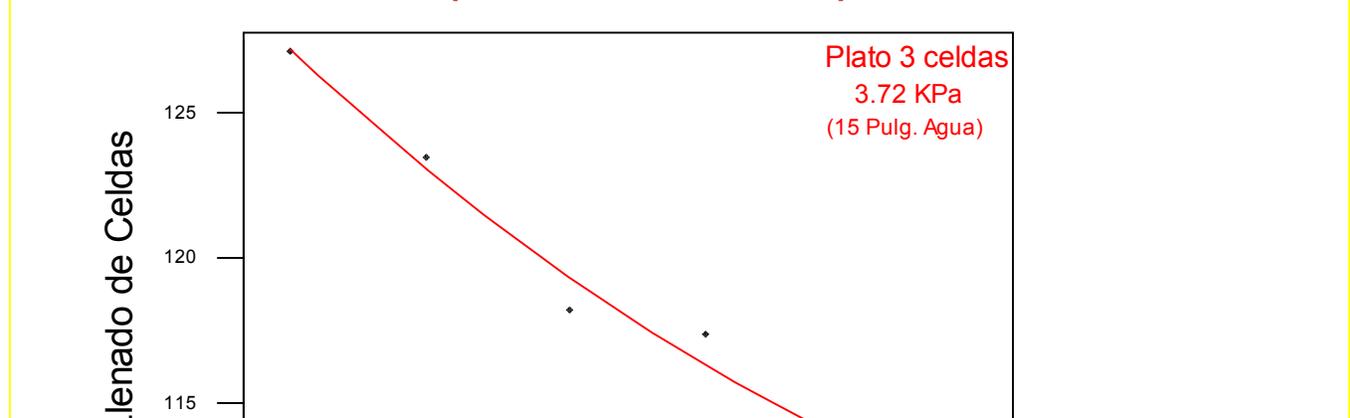


Figura 4.19 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión 3.9 mm probado con maíz plano medio.

Se observa en la Tabla 4.33 en un rango de velocidades de 44 a 131 celdas min.⁻¹ que el llenado de celdas fue de 127.13 a 111.60% con un C.V. de 5.24%, en donde existe diferencia significativa entre las medias del 5%. En general, este plato se rechazó en ambos criterios, además de que el diámetro de succión no es funcional en maíz plano medio.

Tabla 4.33 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano medio.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
44	127.13 A
61	123.46 AB
79	118.20 BC
96	117.32 BC
114	113.40 C
131	111.60 C

C.V. 5.24%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

b.3) Resultados con maíz plano grande*. Con relación al criterio (1) y a la Figura 4.20, el diámetro de succión de 3.9 mm no es funcional en el rango de velocidades de 1.5 a 3.3 Hz, equivalente de 10 a 22 m min.⁻¹; es decir una velocidad de siembra en campo de 2.6 a 5.8 km h⁻¹. Por lo que el plato con este diseño de celda se rechazó en este criterio.

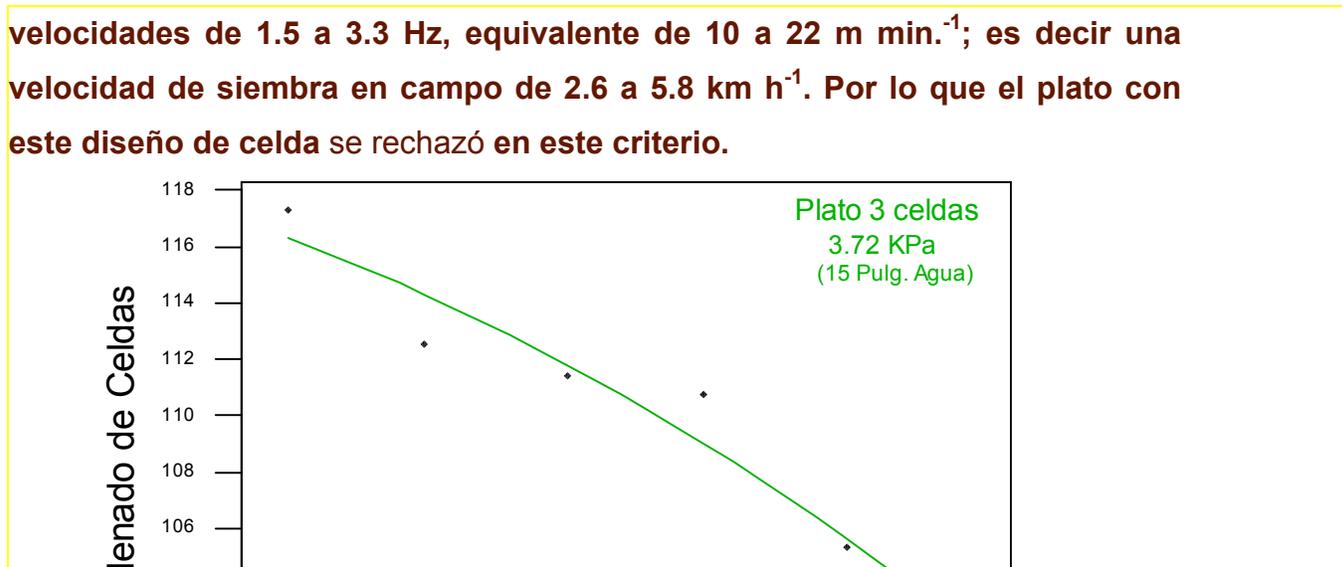


Figura 4.20 Porcentaje de llenado de celdas con un diámetro de succión 3.9 mm probado con maíz plano grande.

En relación al criterio (2), las velocidades que estuvieron dentro de este criterio fueron las de 114 y 131 celdas min.⁻¹, y no existió diferencia significativa entre estos dos valores (Tabla 4.34) con un porcentaje de llenado de celdas de 105.31% y 101.71%, respectivamente.

Tabla 4.34 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano grande.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
44	117.34 A
61	112.54 AB
79	111.42 AB
96	110.76 AB
114	105.31 BC
131	101.71 C

C.V. 5.63%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

c) Diámetro de succión 3.9 mm. **Es importante mencionar que en la primera fase del proyecto, el plato que se acercó al $100 \pm 5\%$ de llenado de celdas para los diferentes tipos de maíz fue el plato de 40 celdas, razón por la cual a partir de esta etapa se decidió trabajar únicamente con dicho plato. Se escogieron 4 de las 40 celdas del plato, cuyas dimensiones se encuentran en la Tabla 4.5 y se varió el diámetro de succión original de 2.7 mm a 3.9 mm.**

c.1) Resultados con maíz bola*. La Figura 4.21 muestra la curva de respuesta de maíz bola a 15 pulgadas de agua, con relación al diámetro de succión, este plato se rechazó en todas las velocidades de trabajo bajo condiciones de laboratorio, de 1.5 a 3.5 Hz, equivalente de 9 a 22 m min.⁻¹ Lo cual representa una velocidad de siembra en campo de 3.5 s 8.2 km h⁻¹.

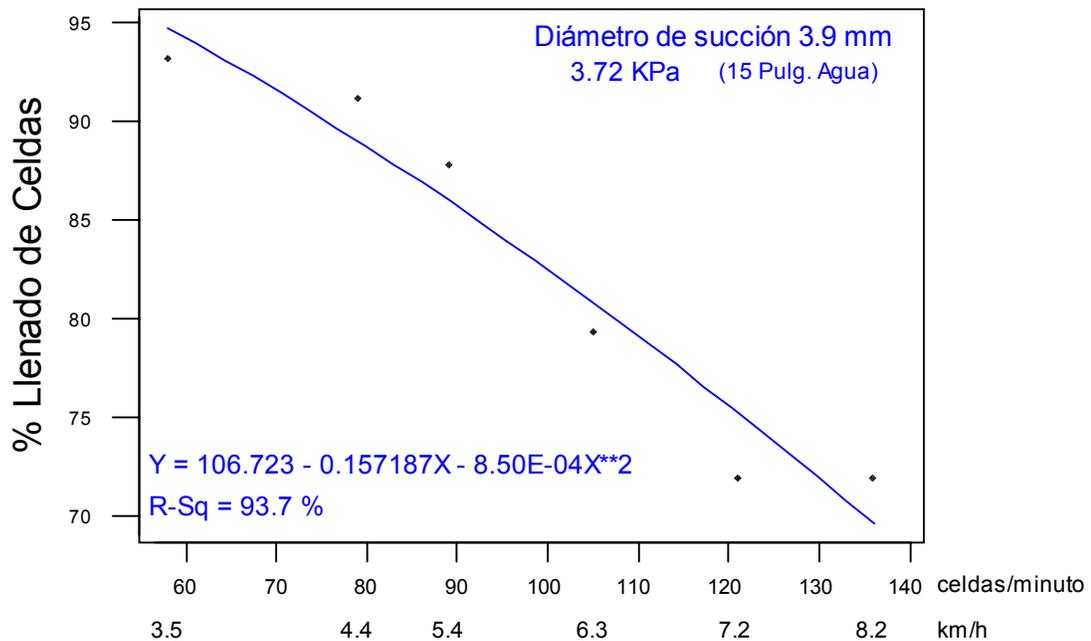


Figura 4.21 Porcentaje de llenado de celdas con un plato de 4 celdas probado con maíz bola.

En la Tabla 4.35 se observa que en el rango de velocidades de 58 a 89 celdas min.⁻¹ no existe diferencia significativa entre el llenado de celdas, siendo éstos de 93.26 a 87.78%, respectivamente. En general ninguna velocidad de trabajo en campo satisfizo el criterio (1) y (2).

Tabla 4.35 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz bola.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
58	93.26 A
79	91.23 A
89	87.78 A
105	79.38 B
121	71.93 C
136	71.87 C

C.V. 7.66%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

c.2) Resultados con maíz plano medio*. La Figura 4.22 muestra la curva de respuesta del llenado de celdas con un diámetro de succión de 3.9 mm. Dicho diámetro resultó no ser funcional debido a que el llenado de celdas se rechazó en velocidades de trabajo de 1.5 a 2.3 Hz, equivalente a una velocidad de siembra en campo de 3.5 a 3.6 km h⁻¹.

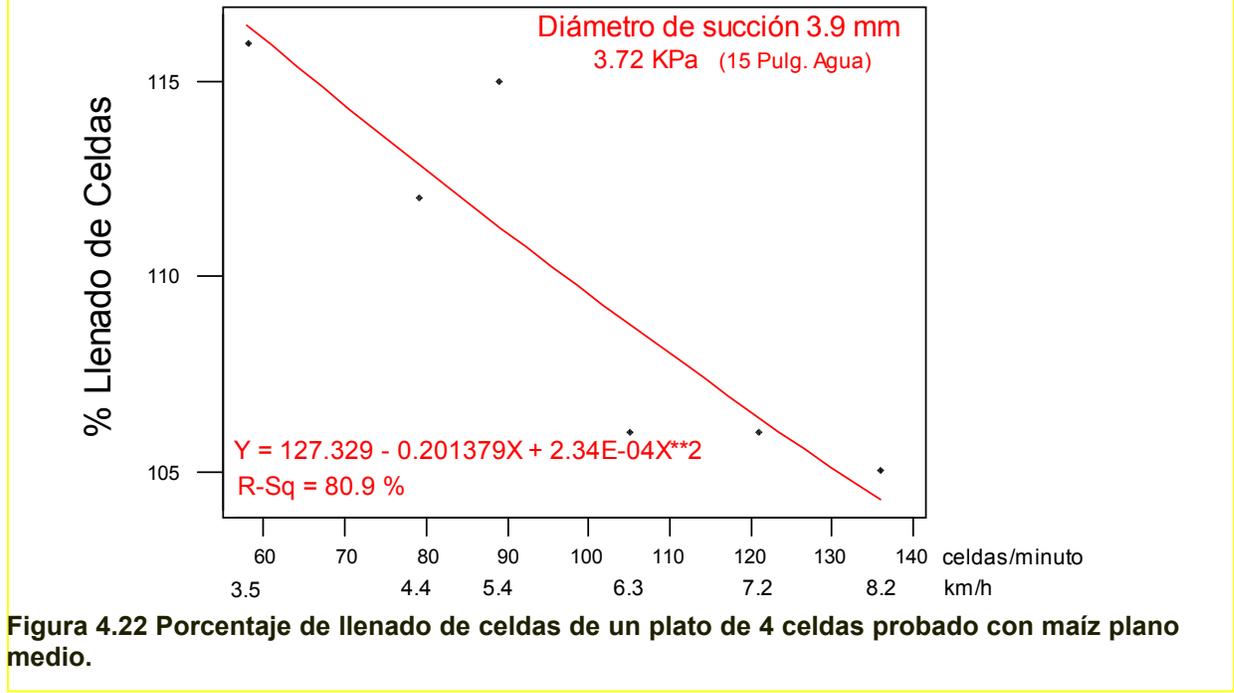


Figura 4.22 Porcentaje de llenado de celdas de un plato de 4 celdas probado con maíz plano medio.

Con respecto al criterio (2), se obtuvieron resultados favorables a velocidades en un rango de 105 a 136 celdas min.⁻¹ y no existió diferencia significativa en el llenado de celdas en dichas velocidades. El llenado de celdas de estas tres velocidades se mantuvo en 105%. (Tabla 4.36).

Tabla 4.36 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano medio.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
58	112.93 A
79	112.50 A
89	111.17 AB

105	105.51	B
121	105.12	B
136	105.09	B

C.V. 5.42. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

c.3) Resultados con maíz plano grande*. La Figura 4.23, indica los valores que se obtuvieron en un plato de 4 celdas. El diámetro de succión para este tipo de maíz, se aceptó en un rango de velocidades de 1.9 a 3.5 Hz, equivalente a una velocidad de siembra en campo de 4.4 a 8.2 km h⁻¹.

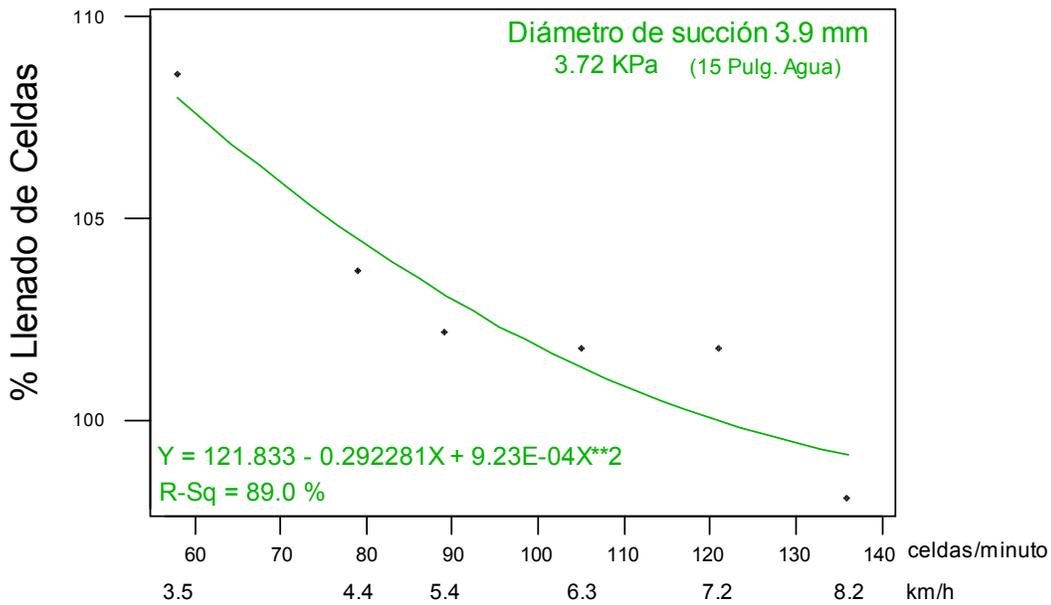


Figura 4.23 Porcentaje de llenado de celdas con un plato de 4 celdas probado con maíz plano grande.

La Tabla 4.37 muestra la comparación de medias del llenado de celdas, obtenidas mediante la prueba de Tukey. En un rango de velocidades de 79 a 136 celdas min.⁻¹ se obtuvo un llenado de celdas cercano al 100±5%, esto significa que los criterios (1) y (2) se cumplieron para la mayoría de las velocidades de trabajo.

Tabla 4.37 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano grande.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
58	108.62 A
79	103.71 B
89	102.18 BC
105	101.77 BC
121	101.77 BC
136	98.04 C

C.V. 4.12. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

En estas pruebas donde se cambió el diámetro de succión, en general el llenado de celdas mejoró considerablemente en los tres tipos de maíz empleados en las pruebas, en comparación con las pruebas iniciales.

4.6.3 Tercera Etapa.

En esta etapa se redimensionaron 4 de 40 celdas del plato dosificador y se evaluaron los resultados obtenidos con los criterios establecidos en el capítulo III sección 3.2.

a) Primera modificación al diseño de celda original.

En esta fase se remodeló la celda inicial del plato de 40 celdas utilizado en la etapa uno. Las dimensiones de la nueva celda se muestran en la Tabla 4.38.

Tabla 4.38 Dimensiones del primer diseño de celda.

Variables	Dimensiones (mm)
Longitud	16.00
Ancho	11.80
Espesor	4.60
% Pendiente	38.36

La Figura 4.24 muestra un corte longitudinal de la celda (A) y (B) la vista superior de la celda con el diámetro de succión.

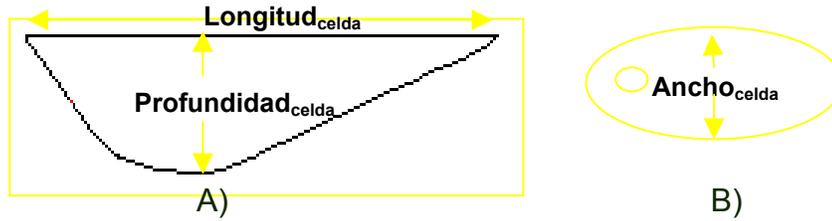


Figura 4.24 Perfil del primer diseño de celda. A) Corte longitudinal y B) Vista superior de la celda.

La Tabla 4.39 indica el porcentaje de las dimensiones del primer diseño de celda con respecto al tamaño promedio de la semilla. Dichos porcentajes, servirán para evaluar el criterio (1) de las siguientes pruebas.

Tabla 4.39 Porcentaje de las dimensiones de la primera modificación al diseño de celda original con relación al tamaño promedio de los diferentes tipos de semillas.

Plato 4 celdas	Maíz Bola	Maíz Plano Medio	Maíz Plano Grande
% Longitud	23.71	16.50	3.45
% Ancho	28.26	42.17	31.11
% Profundidad	-44.58	4.55	-4.17

a.1) Resultados con maíz bola*. Este diseño se aceptó en un rango de velocidades de 1.9 a 3.1 Hz, que equivale de 61 a 131 celdas min.⁻¹, respectivamente; lo cual representa una velocidad de siembra en campo de 4.4 a 7.2 km h⁻¹. En la figura 4.25 se muestra la curva de respuesta del llenado de celdas en cada velocidad.

La comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, es mostrada en la Tabla 4.40 y que a pesar de mostrar diferencias significativas al 5% entre el rango de velocidades evaluada, los márgenes de error en el llenado de celdas se redujo en un rango de +12 a -2%.

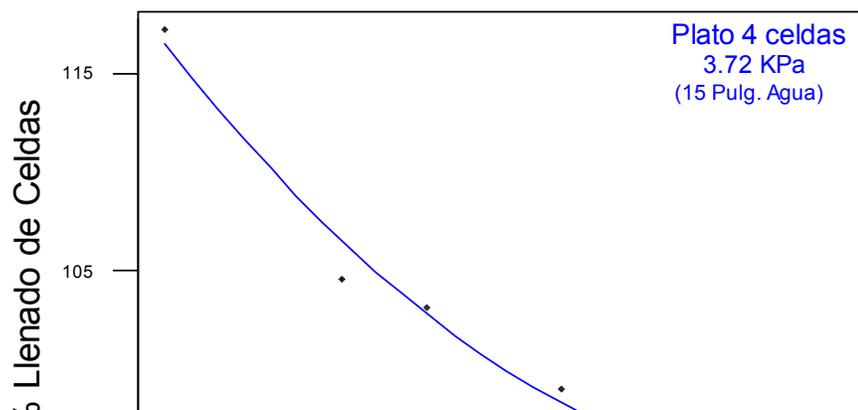


Figura 4.25 Porcentaje de llenado de celdas con el primer diseño de celda probado con maíz bola.

Tabla 4.40 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz bola.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
58	117.24 A
79	104.62 B
89	103.17 B
305	98.97 C
121	96.49 CD
136	93.82 D

C.V. 3.64. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

a.2) Resultados con maíz plano medio*. De acuerdo a la Figura 4.26 los resultados **se rechazaron** para el criterio (1) debido a que el llenado de celdas fue superior al $100 \pm 5\%$ en un rango de velocidades de trabajo en condiciones de laboratorio de 1.5 a 3.5 Hz, equivalente a una velocidad de siembra en campo de 3.5 a 8.2 km h⁻¹.

En virtud de que para la velocidad más baja a 58 celdas min.⁻¹ el llenado de celdas fue de 146.55%; mientras que en la velocidad más alta que fue 136 celdas min.⁻¹ el porcentaje disminuyó considerablemente hasta llegar a 109.86% con un C. v. de 6.05%. (Tabla 4.41)

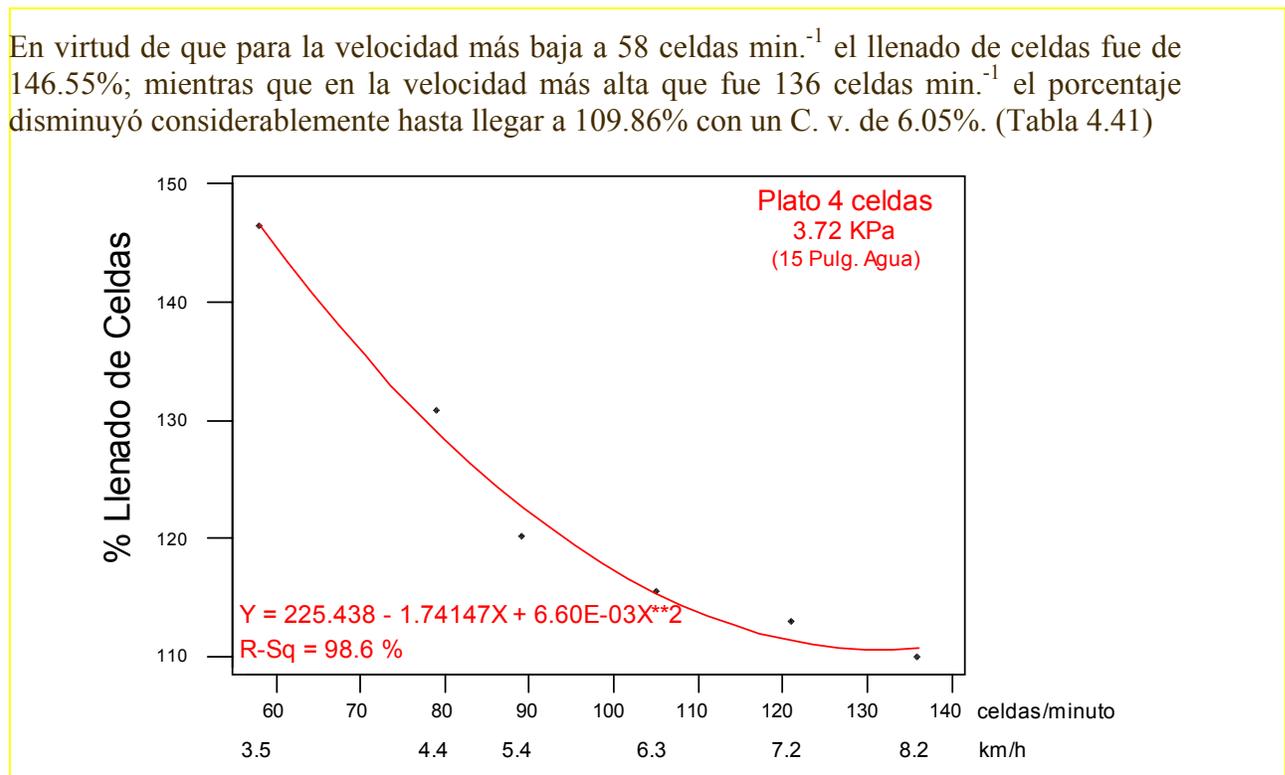


Figura 4.26 Porcentaje de llenado de celdas con el primer diseño de celda probado con maíz plano medio.

Tabla 4.41 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano medio.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
58	146.55 A
79	130.86 B
89	120.07 C
105	115.47 CD
121	112.94 CD
136	109.86 D

C.V. 6.05. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

a.3) Resultados con maíz plano grande*. De acuerdo a los criterios, los mejores resultados se obtuvieron en un rango de velocidades bajo condiciones de laboratorio de 3.3 a 3.5 Hz; es decir de 17 a 22 m min.⁻¹; lo que representa una velocidad de siembra en campo de 4.4 a 8.2 km h⁻¹ (Figura 4.27). Este diseño de celda **se aceptó** en la gama de velocidades arriba mencionadas.

Para el criterio (2) se aceptó en velocidades de 105 a 136 celdas min.⁻¹. El llenado de celdas se mantuvo cercano al 100±5% y no existió diferencia significativa en dicho rango como lo indica la comparación de medias. (Tabla 4.42)

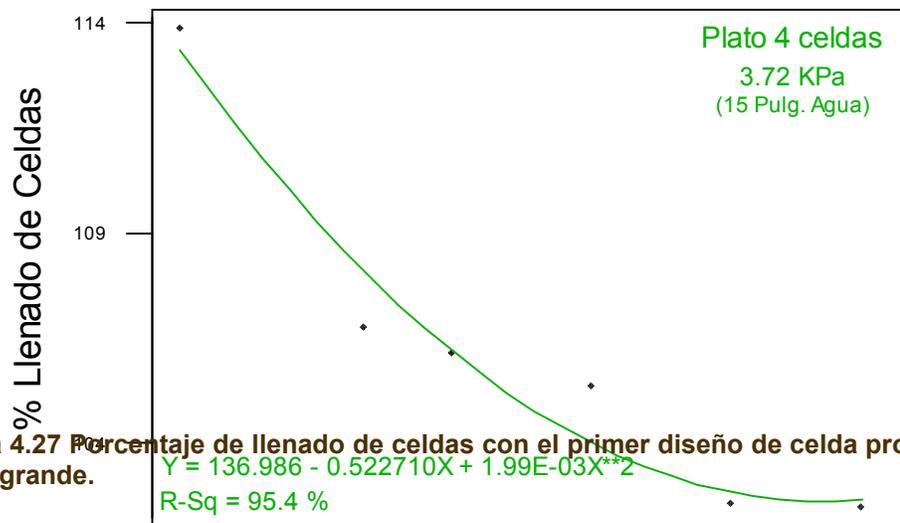


Figura 4.27 Porcentaje de llenado de celdas con el primer diseño de celda probado con maíz plano grande.

Tabla 4.42 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano grande.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
58	113.89 A
79	106.77 B
89	106.14 B
105	105.38 B

121
136

102.55 B
102.48 B

C.V. 4.44. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

b. Primera modificación al diseño de celda original a diferentes niveles de succión.

Con el primer diseño de celda se trabajó con 2 tipos de maíz y con diferentes niveles de succión.

b.1) Resultados con maíz bola. Se aumentó la succión de 3.72 a 4.47 KPa (15 a 18 pulgadas de agua) con la finalidad de acercarse al $100 \pm 5\%$. Es importante mencionar que no se aumentó el área de succión porque muy probablemente tendríamos un exceso de semillas dobles por celda y de acuerdo a la fórmula $P=F/A$, es más fácil mantener el área constante y aumentar la succión. La Figura 4.28 muestra la curva de respuesta de maíz bola a 4.47 KPa (18 pulgadas de agua) y al considerar los criterios, este diseño de celda se aceptó en todas las velocidades de trabajo de 1.5 a 3.5 Hz, equivalente a una velocidad de siembra en campo de 3.5 a 8.2 km h⁻¹.

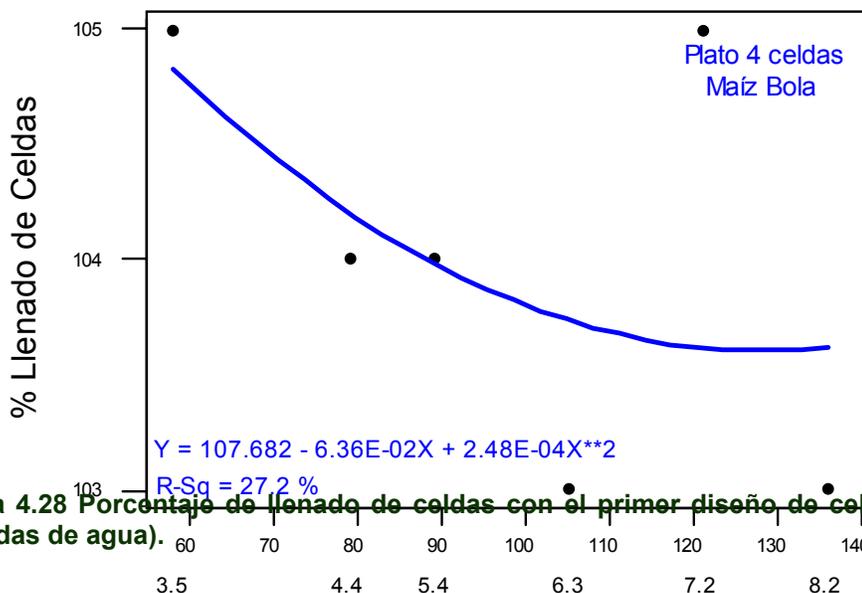


Figura 4.28 Porcentaje de llenado de celdas con el primer diseño de celda a 4.47 KPa (18 pulgadas de agua).

La comparación de medias se muestra en la Tabla 4.43 se aprecia que hay una uniformidad del llenado de celdas, en un rango de velocidad 58 a 136

celdas min.⁻¹ cercano al 100±5%, en donde no existe diferencia significativa entre las medias y se tiene un C.V. de 3.59%.

Tabla 4.43 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz bola.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
58	105.11(NS)
79	104.43(NS)
89	104.59(NS)
105	103.64(NS)
121	105.65(NS)
136	103.83(NS)

C.V. 3.59. (NS) No existe diferencia significativa entre las medias

b.2) Resultados con maíz plano medio. La Figura 4.29 muestra el llenado de celdas de cada velocidad. Los resultados mejoraron considerablemente al disminuir la succión de 3.72 KPa (15 pulgadas de agua) a 2.98 KPa (12 pulgadas de agua); sin embargo, el diseño de celda se rechazó en todas las velocidades de trabajo de 3.5 a 8.2 km h⁻¹ equivalente de 9 a 22 m min.⁻¹.

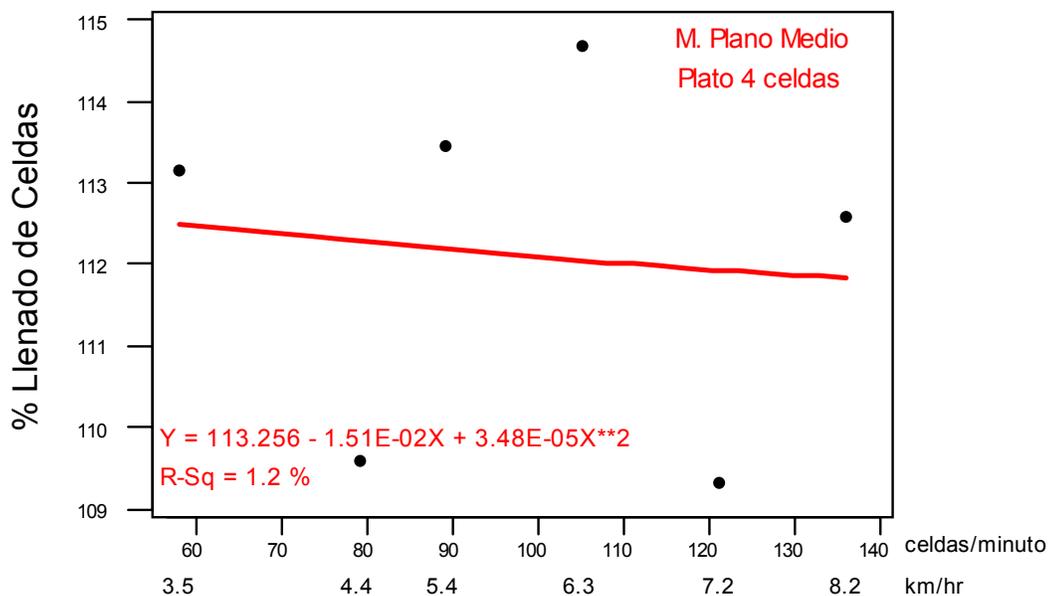


Figura 4.29 Porcentaje de llenado de celdas con el primer diseño de celda, a 2.98 KPa (12 pulgadas de agua).

La comparación de medias se muestra en la Tabla 4.44 en un rango de velocidades de 58 a 136 celdas min.⁻¹, los márgenes de error en el llenado de celdas se redujo a un rango de +8%. De acuerdo con el segundo criterio este plato debería de aceptarse en virtud de no

existir diferencia significativa en el por ciento de llenado de celdas de cada velocidad, lo que significa que existe un exceso de fuerza de succión.

Cuadro 4.44 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano medio.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
58	113.15(NS)
79	109.58(NS)
89	113.47(NS)
105	114.70(NS)
121	109.29(NS)
136	112.60(NS)

C.V. 4.53%. (NS) no existe diferencia significativa entre las medias

c) Segunda modificación al diseño de celda original.

Es importante mencionar que las dimensiones de la celda jugaron un papel muy importante para determinar el llenado de éstas y así poder utilizar el mismo plato para los diferentes tipos de maíz usados en las pruebas. En la Figura 4.30 se muestra la representación esquemática del diseño de celda empleado en la etapa final.

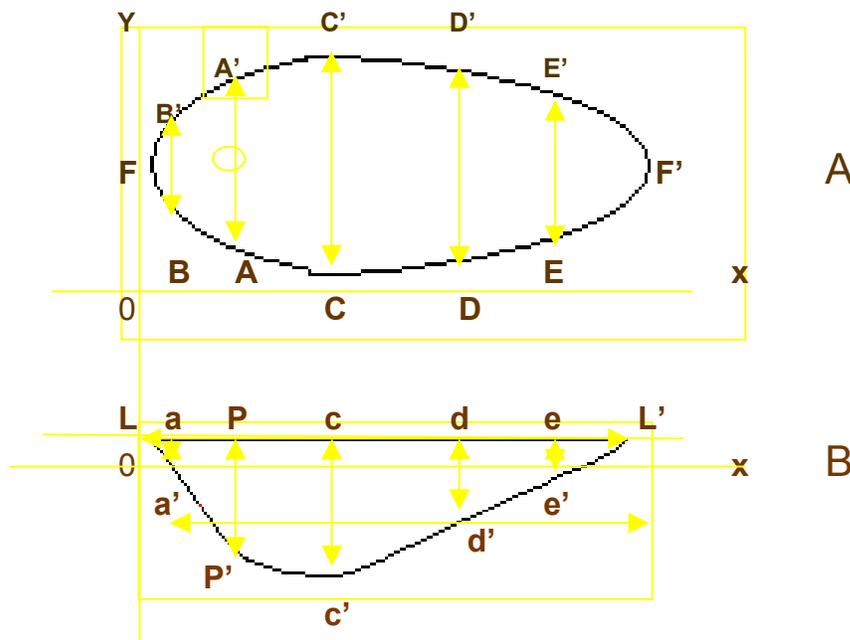


Figura 4.30 Perfil del segundo diseño de celda. A. Vista superior, B. Corte longitudinal.

Las siguientes tablas indican las coordenadas del segundo diseño de la celda con la que se logró obtener el $100\pm 5\%$ de llenado de celdas.

Tabla 4.45 Posición de las coordenadas en (mm) de la vista superior de la celda.

	F	F'	B	B'	A	A'	C	C'	D	D'	E	E'
x	0.00	17.0	4.00	4.00	6.50	6.50	11.5	11.5	15.0	15.0	17.8	17.8
y	6.50	6.50	1.50	11.3	3.50	11.8	0.00	10.0	3.50	12.5	4.00	9.00

Tabla 4.46 Posición de las coordenadas en (mm) del corte longitudinal de la celda.

	L	L'	a	a'	P	P'	c	c'	d	d'	E	e'
X	0.00	1.70	0.40	0.40	0.65	0.65	1.15	1.15	1.50	1.50	1.78	1.78
Y	0.00	0.00	0.00	-0.18	0.00	-0.40	0.00	-0.32	0.00	-0.20	0.00	-0.03

La Tabla 4.47 indica el porcentaje de las dimensiones de la segunda modificación al diseño de celdas original con respecto al tamaño promedio de la semilla.

Tabla 4.47 Porcentaje de las dimensiones del segundo diseño de celda con relación al tamaño promedio de los diferentes tipos de semillas empleados en la prueba.

Plato 4 celdas	Maíz Bola	Maíz Plano Medio	Maíz Plano Grande
% Longitud	54.64	45.63	29.31
% Ancho	28.26	42.17	31.11
% Profundidad	-51.81	-9.09	-16.67
% Pendiente	26.66	26.66	26.66

c.1) Resultados con maíz bola*. Conforme a los criterios y de acuerdo a la

Figura 4.31 este tipo de celda se aceptó en todas las velocidades de trabajo de 1.5 a 3.5 Hz, equivalente de 9 a 22 m min.⁻¹ respectivamente. Esto representa una velocidad de siembra en campo de 3.5 a 8.2 km h⁻¹.

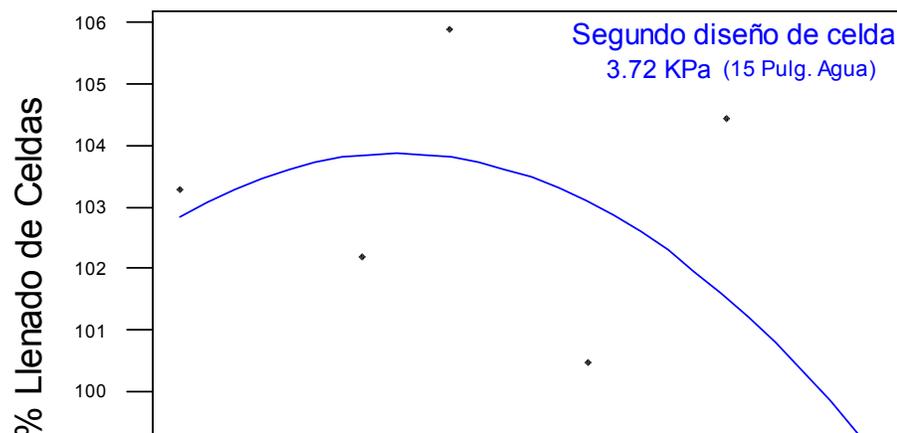


Figura 4.31 Porcentaje de llenado de celdas del segundo diseño de celda probado con maíz bola.

La Tabla 4.48 muestra la comparación de medias en un rango de 58 a 136 celdas min^{-1} obteniendo un llenado de celdas del $100 \pm 5\%$ en donde no existe diferencia significativa entre las medias. (Criterio 2)

Tabla 4.48 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz bola.

celdas/minuto	MEDIA (% Llenado de Celdas)
58	103.29(NS)
79	102.18(NS)
89	105.90(NS)
105	100.48(NS)
121	104.44(NS)
136	98.16(NS)

C.V. 5.05%. (NS) no existe diferencia significativa entre las medias

c.2) Resultados con maíz plano medio*. Conforme a los criterios y de acuerdo a la Figura 4.32 y que muestra los resultados obtenidos en maíz plano medio a 2.48 KPa (10 pulgadas de agua) se concluyó que este tipo de celda se aceptó en todas las velocidades de trabajo de 1.5 a 3.5 Hz, equivalente de 9 a 22 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ respectivamente, lo que representa una velocidad de siembra en campo de 3.5 a 8.2 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

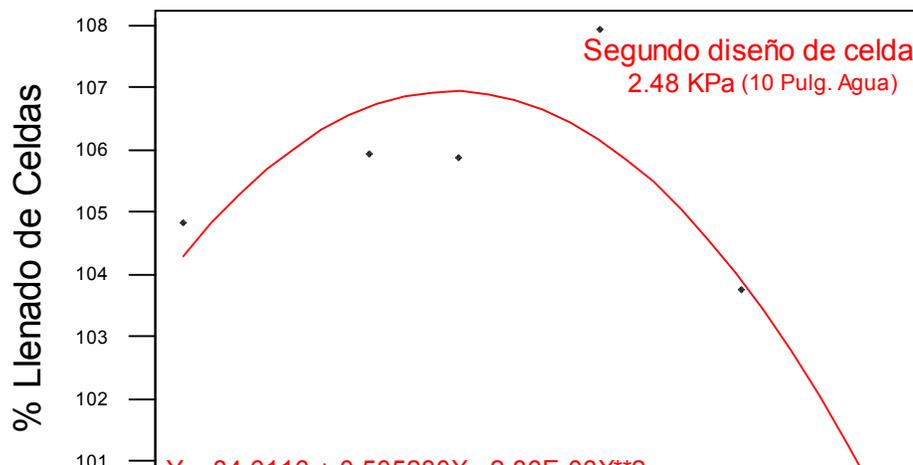


Figura 4.32 Porcentaje de llenado de celdas del segundo diseño de celda probado con maíz plano medio.

La comparación de medias se indica en la Tabla 4.49 donde se observa que en un rango de 58 a 136 celdas min.⁻¹ el llenado de celdas en esta prueba satisface el criterio (1) al obtener un llenado de celdas del 100±5%. Para el criterio (2) no existe diferencia significativa entre las medias, lo cual significa que se puede operar en este rango de velocidades sin que afecte el porcentaje de llenado de celdas, con un promedio de llenado de 104.7 %.

Tabla 4.49 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano medio.

celdas min. ⁻¹	MEDIA (% Llenado de Celdas)
58	104.82(NS)
79	105.93(NS)
89	105.87(NS)
105	107.94(NS)
121	103.76(NS)
136	100.13(NS)

C.V. 4.32%. (NS) no existe diferencia significativa entre las medias

c.3) Resultados con maíz plano grande*. **Conforme a los criterios y de acuerdo a la Figura 4.33 se muestran los resultados del llenado de celdas de cada velocidad. Se concluyó que este tipo de celda se aceptó en un rango de velocidades de trabajo de 2.3 a 3.5 Hz, equivalente de 14 a 22 m min.⁻¹,**

respectivamente y que representa una velocidad de siembra en campo de 5.4 a 8.2 km h⁻¹.

Figura 4.33 Porcentaje de llenado de celdas del segundo diseño de celda, probado con maíz plano grande.

La comparación de medias se indica en la Tabla 4.50 y se observa que en un rango de velocidad de 89 a 136 celdas min.⁻¹ se obtuvo un llenado de celdas del 100±5%; por lo que, esta prueba satisface el criterio (1) al no existir diferencia significativa entre las medias de dicho rango.

Tabla 4.50 Comparación de medias del porcentaje de llenado de celdas, maíz plano medio.

celdas/minuto	MEDIA (% Llenado de Celdas)
58	109.75 A
79	108.32 A
89	102.21 B
105	101.64 B
121	101.20 B
136	100.44 B

C.V. 3.56%. Los valores con letras distintas indican que existe una diferencia significativa al 5%.

En general los porcentajes de las dimensiones de la celda con respecto al tamaño promedio de las semillas mostrados en la Tabla 4.40 se deduce que éstos fueron los adecuados para lograr un llenado de celdas del $100\pm 5\%$ a excepción de la prueba de maíz plano grande que fue en un rango de velocidades de 58 a 79 celdas min^{-1} con un margen de error en el llenado de celdas de +4%.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se pudo validar el módulo de control de registro concluyendo lo siguiente:

- Los sensores empleados tanto el de desplazamiento como el de conteo de semilla proporcionaron un porcentaje de eficiencia del 98% en trabajos de evaluación de sistemas dosificadores neumáticos en condiciones de laboratorio.
- El monitor de registro de eventos permitió visualizar el conteo de pulsos teóricos (desplazamiento); así como también, el conteo de eventos de la caída de la semilla en determinado tiempo (número de semillas totales).
- El porcentaje de llenado de celdas fue afectado por las dimensiones de la celda con respecto al tamaño promedio de la semilla, la fuerza de succión y la velocidad de siembra. El grado en que se afectan estos factores, se debe en gran parte al tipo y masa de la semilla del cultivo que se estén empleando.

En relación a la evaluación de un sistema experimental de dosificación neumático, se concluye que:

- Los porcentajes de las dimensiones de la celda con respecto al tamaño de la semilla, los cuales permitieron obtener un llenado de celdas del $100\pm 5\%$ en los diferentes tipos de maíz empleados fueron:
 - Maíz bola: 54.64% en longitud; 28.26% en ancho y (-) 51.81% en profundidad.
 - Maíz plano medio: 45.63% en longitud; 42.17% en ancho y (-) 9.09% en profundidad.
 - Maíz plano grande: 29.31% en longitud; 31.11% en ancho y (-) 16.67% en profundidad.

La pendiente fue de 26.66% con un diámetro de succión de 3.9 mm.

- **El rango de velocidad de siembra para los diferentes tipos de semillas empleadas fueron:**
 - **Maíz bola de 3.5 a 8.2 km h⁻¹ a 3.72 KPa (15 pulgadas de agua) lo cual representa un rango de velocidad de 583 a 1361 semillas/minuto.**
 - **Maíz plano medio de 3.5 a 8.2 km h⁻¹ a 2.48 KPa (10 pulgadas de agua) lo cual representa un rango de velocidad de 583 a 1361 semillas/minuto.**
 - **Maíz plano grande de 5.4 a 8.2 km h⁻¹ a 3.72 KPa (15 pulgadas de agua) lo cual representa un rango de velocidad de 849 a 1361 semillas / minuto.**

5.2 Recomendaciones

- **Los criterios seleccionados para determinar el porcentaje de llenado de celdas son adecuados para evaluar la eficiencia de sistemas dosificadores neumáticos. Bajo estos criterios se recomienda la evaluación para otro tipo de semilla.**
- **Que exista uniformidad en el tipo de semilla con la que se desee trabajar con un coeficiente de variación menor al 25%, esto se logrará utilizando cribas para los diferentes tipos y tamaños de semillas.**
- **Se recomienda realizar pruebas en condiciones de laboratorio con impactos de frecuencia que simule las condiciones irregulares del terreno que permita la simulación de presencia de obstáculos, en donde**

el diseño de este módulo esté compuesto por una leva, un motoreductor y un variador de frecuencia.

- **Realizar pruebas de campo con el diseño de celda obtenida en esta investigación para verificar los datos en condiciones de laboratorio.**
- **Se recomienda para el sensor optoelectrónico (de desplazamiento) realizar una tierra física adecuada que permita evitar variaciones en el número de pulsos que registra el contador digital.**
- **La fuente de alimentación para el contador digital debe tener como mínimo 9 Volts con la finalidad de obtener lecturas confiables.**
- **La semilla utilizada debe encontrarse libre de cualquier impureza con el objetivo de que el sensor de conteo de semillas permita mejorar su confiabilidad.**

VI. LITERATURA CITADA

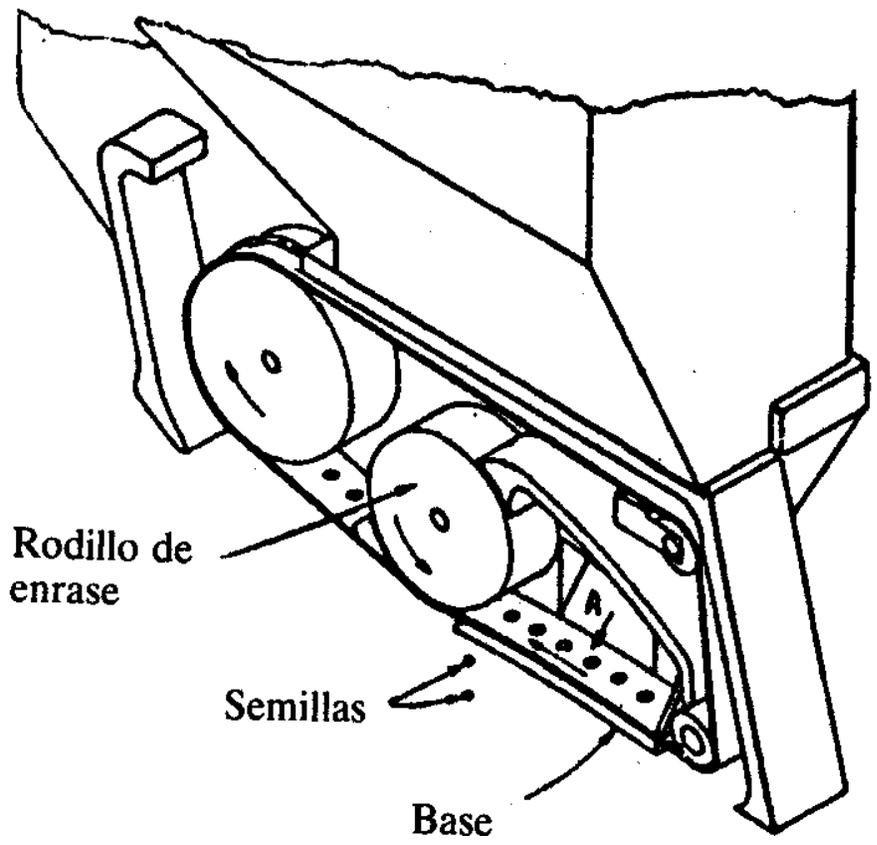
1. **Angulo U., J. M. 1999. Microcontroladores PIC. Diseño práctico de aplicaciones. 2ª. Edición. McGraw-Hill. Aravaca, Madrid.**

2. Beckwith, T.G. 1993. Mechanical Measurements. 5ª. Edición. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. United States of America.
3. Bragachini, M. 1999. Agricultura de Precisión. [En línea]. Disponible en <http://www.agriculturadeprecisión.org>. (Revisado en Septiembre de 2003)
4. Campo Agrícola Experimental Cotaxtla, INIA. 1982. Guía para la asistencia técnica agrícola. Cotaxtla, Veracruz, México.
5. Duque C., E. 1998. Curso avanzado de Microcontroladores PIC. CEKIT. Pereira, Colombia.
6. Flores V., J. 2001. Microcontrolador COP8™ Manual de Teoría y Práctica Básica. National Semiconductor Corp. Guadalajara, Jalisco, México.
7. John Deere. 1975. Fundamentos de Funcionamiento de Maquinaria. Moline, Illinois, Estados Unidos.
8. Kepner R, A. 1955. Principles of Farm Machinery. Third Edition. The AVI Publishing Company. USA.
9. Ortiz – Cañabate J. 1989. Técnica de la Mecanización Agraria. Edición Mundi-Prensa, Madrid, España.
10. Ozuna V., J.M. 2003. Desarrollo de un banco modular para la evolución bajo condiciones de laboratorio de sembradoras integrales. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

11. Ramírez T., A. 2000. Desarrollo de un sistema semiautomático para el control de la frecuencia de dosificación de semilla. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Veracruz, Veracruz, México.

12. S/A. 2003. Microcontroladores: Información, Herramientas y Programador. [En línea]. Disponible en: <http://www.geocities.com/TheTropics/2174/micro.htm1> (Revisado en Septiembre de 2003).

13. S/A. 2003. Manual de Microcontroladores.



Rodillo de engrase

Semillas

Base

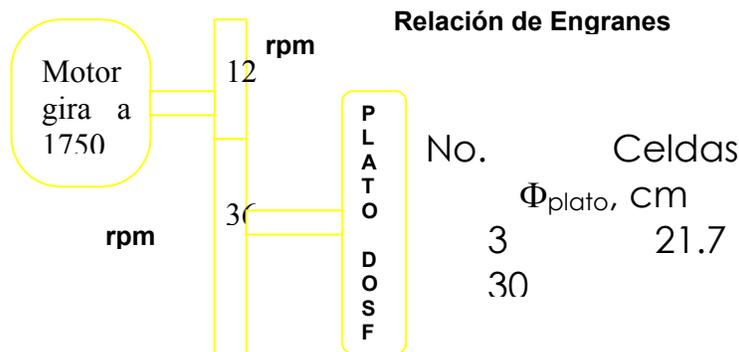
VII. ANEXOS

Figura 2.2.

Figura 2.3. **ANEXO I**

1.1 Cálculos para determinar la velocidad de trabajo (Hz) en condiciones de laboratorio.

- Rango de siembra en campo para maíz de 3 – 10 semillas m.⁻¹ y soya de 20 – 30 semillas m.⁻¹.
- La velocidad de trabajo es de 3 a 8 km h⁻¹.
- El motor gira a 1750 rpm.
- Variador de Frecuencia de 1.5 – 60 Hz.



a.

Fig. 1.1 Diagrama esquemático de una sembradora.

Tenemos:

$$\begin{aligned}
 60\text{HZ} & \text{ ----- } 1750\text{rpm} \\
 1\text{HZ} & \text{ ----- } X\text{rpm} \\
 1\text{HZ} & = 29.16\text{rpm}_1 \\
 1\text{HZ} & = 29.16\text{rpm}_1 * \frac{12}{36} = 9.72\text{rpm}_2
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

MAÍZ:

$$\begin{aligned}
 10 \frac{\text{semillas}}{\text{metro}} * 12500\text{metros} & = 125000 \frac{\text{semillas}}{\text{Ha}} \\
 8 \frac{\text{km}}{\text{hr}} * \frac{1\text{hora}}{3600\text{seg}} * \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} & = 2.22 \frac{\text{metros}}{\text{segundo}} \\
 10 \frac{\text{semillas}}{\text{metro}} * 2.22 \frac{\text{metros}}{\text{segundo}} & = 22.2 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}}
 \end{aligned}$$

$$3 \frac{\text{semillas}}{\text{metro}} * 12500 \text{ metros} = 37500 \frac{\text{semillas}}{\text{Ha}}$$

$$3 \frac{\text{km}}{\text{hr}} * \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ seg}} * \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 0.83 \frac{\text{metros}}{\text{segundo}}$$

$$3 \frac{\text{semillas}}{\text{metro}} * 0.83 \frac{\text{metros}}{\text{segundo}} = 2.49 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}}$$

1.1.1 Velocidades para un plato con 30 celdas.

$$\frac{12}{36} * 1.5 \text{ Hz} * 30 \text{ celdas} * 0.49 \text{ rps} = 7.34 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}}$$

despejando :

$$\text{Hz} = \frac{\frac{\text{semillas}_{\text{max.}}}{\text{segundo}} * 36}{30 * 0.49 \text{ rps} * 12}$$

$$\text{Hz} = \frac{22.2 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}} * 36}{30 * 0.49 \text{ rps} * 12} = 4.53$$

El rango de velocidad en Hz será de 1.5 a 4.5 con incrementos de 0.6. Es decir, 1.5, 2.1, 2.7, 3.3, 3.9 y 4.5 Hz.

1.1.2 Velocidades para un plato con 40 celdas.

$$\frac{12}{36} * 1.5 \text{ Hz} * 40 \text{ celdas} * 0.49 \text{ rps} = 9.79 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}}$$

despejando :

$$\text{Hz} = \frac{\frac{\text{semillas}_{\text{max.}}}{\text{segundo}} * 36}{30 * 0.49 \text{ rps} * 12}$$

$$\text{Hz} = \frac{22.2 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}} * 36}{40 * 0.49 \text{ rps} * 12} = 3.5$$

El rango de velocidad en Hz será de 1.5 a 3.5 con incrementos de 0.4. Es decir, 1.5, 1.9, 2.3, 2.7, 3.1 y 3.5 Hz.

SOYA:

$$20 \frac{\text{semillas}}{\text{metro}} * 12500 \text{ metros} = 250000 \frac{\text{semillas}}{\text{Ha}}$$

$$3 \frac{\text{km}}{\text{hr}} * \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ seg}} * \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 0.83 \frac{\text{metros}}{\text{segundo}}$$

$$20 \frac{\text{semillas}}{\text{metro}} * 0.83 \frac{\text{metros}}{\text{segundo}} = 16.6 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}}$$

$$30 \frac{\text{semillas}}{\text{metro}} * 12500 \text{ metros} = 37500 \frac{\text{semillas}}{\text{Ha}}$$

$$8 \frac{\text{km}}{\text{hr}} * \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ seg}} * \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 2.22 \frac{\text{metros}}{\text{segundo}}$$

$$30 \frac{\text{semillas}}{\text{metro}} * 2.22 \frac{\text{metros}}{\text{segundo}} = 66.6 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}}$$

1.1.3 Velocidades para un plato con 80 celdas.

$$\frac{12}{36} * 1.5\text{Hz} * 80\text{celdas} * 0.49\text{rps} = 13.06 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}}$$

despejando :

$$\text{Hz} = \frac{\frac{\text{semillas}_{\text{max.}}}{\text{segundo}} * 36}{30 * 0.49\text{rps} * 12}$$

$$\text{Hz} = \frac{66.6 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}} * 36}{80 * 0.49\text{rps} * 12} = 5.0$$

El rango de velocidad en Hz será de 1.5 a 3.5 con incrementos de 0.7. Es decir, 1.5, 2.2, 2.9, 3.6, 4.3 y 5.0 Hz.

1.2. De acuerdo al diagrama mostrado anteriormente y a la ecuación 1, se hizo lo siguiente:

1.2.1 Determinación de celdas min.^{-1} y m min.^{-1} para un plato con 30 celdas.

$$\begin{aligned} 1.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 30\text{celdas} &= 437 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}} \\ 2.1\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 30\text{celdas} &= 612 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}} \\ 2.7\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 30\text{celdas} &= 787 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}} \\ 3.3\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 30\text{celdas} &= 962 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}} \\ 3.9\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 30\text{celdas} &= 1137 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}} \\ 4.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 30\text{celdas} &= 1312 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6817\text{m}^* &= 10 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}} \\ 2.1\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6817\text{m}^* &= 14 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}} \\ 2.7\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6817\text{m}^* &= 18 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}} \\ 3.3\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6817\text{m}^* &= 22 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}} \\ 3.9\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6817\text{m}^* &= 26 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}} \\ 4.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6817\text{m}^* &= 30 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}} \end{aligned}$$

* Perímetro del plato dosificador. $P = 3.1416 * \text{diámetro. } D = 0.217\text{cm}$

1.2.2 Determinación de celdas min.^{-1} y m min.^{-1} para un plato con 40 celdas.

$$\begin{aligned} 1.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 40\text{celdas} &= 583 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}} \\ 1.9\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 40\text{celdas} &= 739 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}} \\ 2.3\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 40\text{celdas} &= 894 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}} \\ 2.7\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 40\text{celdas} &= 1050 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}} \\ 3.1\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 40\text{celdas} &= 1205 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}} \\ 3.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 40\text{celdas} &= 1361 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6377\text{m}^* &= 9.2 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}} \\ 1.9\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6377\text{m}^* &= 11.7 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}} \\ 2.3\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6377\text{m}^* &= 14.2 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}} \\ 2.7\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6377\text{m}^* &= 16.7 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}} \\ 3.1\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6377\text{m}^* &= 19.2 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}} \\ 3.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6377\text{m}^* &= 21.6 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}} \end{aligned}$$

* Perímetro del plato dosificador. $P = 3.1416 * \text{diámetro}$. $D = 0.203 \text{ cm}$

1.2.3 Determinación de celdas min.^{-1} y metros min.^{-1} para un plato con 80 celdas.

$$\begin{aligned} 1.5\text{Hz} * 9.72\text{rpm} * 80\text{celdas} &= 1166 \frac{\text{celdas}}{\text{min uto}} \\ 2.2\text{Hz} * 9.72\text{rpm} * 80\text{celdas} &= 1710 \frac{\text{celdas}}{\text{min uto}} \\ 2.9\text{Hz} * 9.72\text{rpm} * 80\text{celdas} &= 2255 \frac{\text{celdas}}{\text{min uto}} \\ 3.6\text{Hz} * 9.72\text{rpm} * 80\text{celdas} &= 2799 \frac{\text{celdas}}{\text{min uto}} \\ 4.3\text{Hz} * 9.72\text{rpm} * 80\text{celdas} &= 3343 \frac{\text{celdas}}{\text{min uto}} \\ 5.0\text{Hz} * 9.72\text{rpm} * 80\text{celdas} &= 3888 \frac{\text{celdas}}{\text{min uto}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1.5\text{Hz} * 9.72\text{rpm} * 0.6408\text{m}^* &= 9.3 \frac{\text{metros}}{\text{min uto}} \\ 2.2\text{Hz} * 9.72\text{rpm} * 0.6408\text{m}^* &= 13.7 \frac{\text{metros}}{\text{min uto}} \\ 2.9\text{Hz} * 9.72\text{rpm} * 0.6408\text{m}^* &= 18.0 \frac{\text{metros}}{\text{min uto}} \\ 3.6\text{Hz} * 9.72\text{rpm} * 0.6408\text{m}^* &= 22.4 \frac{\text{metros}}{\text{min uto}} \\ 4.3\text{Hz} * 9.72\text{rpm} * 0.6408\text{m}^* &= 26.7 \frac{\text{metros}}{\text{min uto}} \\ 5.0\text{Hz} * 9.72\text{rpm} * 0.6408\text{m}^* &= 31.4 \frac{\text{metros}}{\text{min uto}} \end{aligned}$$

* Perímetro del plato dosificador. $P = 3.1416 * \text{diámetro}$. $D = 0.204 \text{ cm}$

1.2.3 Determinación de celdas min.^{-1} y m min.^{-1} para un plato con 3 celdas.

$$1.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 3\text{celdas} = 44 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}}$$

$$2.1\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 3\text{celdas} = 61 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}}$$

$$2.7\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 3\text{celdas} = 79 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}}$$

$$3.3\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 3\text{celdas} = 96 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}}$$

$$3.9\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 3\text{celdas} = 114 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}}$$

$$4.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 3\text{celdas} = 131 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}}$$

$$1.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6817\text{m} = 10 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}}$$

$$2.1\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6817\text{m} = 14 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}}$$

$$2.7\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6817\text{m} = 18 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}}$$

$$3.3\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6817\text{m} = 22 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}}$$

$$3.9\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6817\text{m} = 26 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}}$$

$$4.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6817\text{m} = 30 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}}$$

1.2.4 Determinación de celdas min.^{-1} y m min.^{-1} para un plato con 4 celdas.

$$1.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 4\text{celdas} = 58 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}}$$

$$1.9\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 4\text{celdas} = 79 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}}$$

$$2.3\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 4\text{celdas} = 89 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}}$$

$$2.7\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 4\text{celdas} = 105 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}}$$

$$3.1\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 4\text{celdas} = 121 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}}$$

$$3.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm} * 4\text{celdas} = 136 \frac{\text{celdas}}{\text{minuto}}$$

$$1.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6393\text{m} = 9 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}}$$

$$1.9\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6393\text{m} = 12 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}}$$

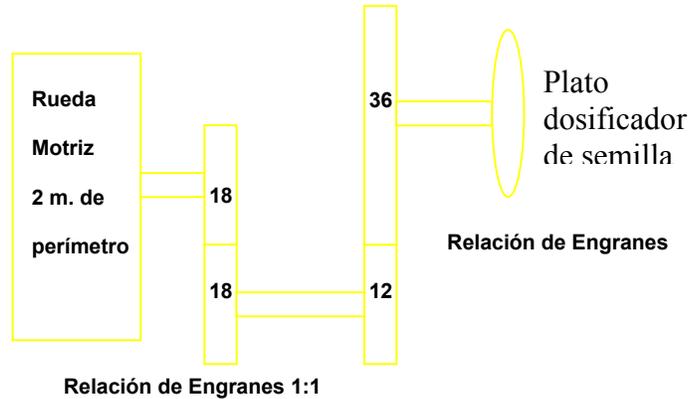
$$2.3\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6393\text{m} = 14 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}}$$

$$2.7\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6393\text{m} = 17 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}}$$

$$3.1\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6393\text{m} = 19 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}}$$

$$3.5\text{HZ} * 9.72\text{rpm}_2 * 0.6393\text{m} = 22 \frac{\text{metros}}{\text{minuto}}$$

1.3 Posteriormente se calculó los km h^{-1} equivalentes a Hz.



- Velocidad mínima de trabajo 3 km h^{-1} , $3 \text{ semillas m.}^{-1}$ mínimo para maíz y $20 \text{ semillas m.}^{-1}$ mínimo para soya.
- Velocidad máxima de trabajo 8 km h^{-1} , $10 \text{ semillas m.}^{-1}$ máximo para maíz y $30 \text{ semillas m.}^{-1}$ máximo para soya.

$$3 \frac{\text{km}}{\text{h}} \left(\frac{1\text{h}}{60\text{seg.}} \right) \left(\frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \right) = 50 \frac{\text{m}}{\text{min.}} \left(\frac{1}{2} \text{m} \right) = 25\text{rpm} \text{-----} 3 \frac{\text{semillas}}{\text{metro}}$$

$$8 \frac{\text{km}}{\text{h}} \left(\frac{1\text{h}}{60\text{seg.}} \right) \left(\frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \right) = 66 \frac{\text{m}}{\text{min.}} \left(\frac{1}{2} \text{m} \right) = 66\text{rpm} \text{-----} 10 \frac{\text{semillas}}{\text{metro}}$$

1.3.1 Para un plato con 30 celdas.

$$66\text{rpm}(2\text{m}) \left(10 \frac{\text{sem.}}{\text{m}} \right) = 1320 \frac{\text{sem.}}{\text{m}} \left(\frac{1}{30} \text{celdas} \right) = 44\text{rpm}_{\text{plato.}}$$

De acuerdo a la ecuación (1), se tiene:

$$\frac{9.72\text{rpm}_{\text{plato}}}{44\text{rpm}_{\text{plato}}} \text{-----} \frac{1\text{Hz}}{X = 4.5\text{Hz}}$$

Es equivalente a 8 km/h .

Por regla de 3 simple se calculó los demás datos:

4.5Hz	_____	$8 \frac{km}{h}$
1.5Hz *	_____	$X = 2.6 \frac{km}{h}$
2.1Hz *	_____	$X = 3.7 \frac{km}{h}$
2.7Hz *	_____	$X = 4.8 \frac{km}{h}$
3.3Hz *	_____	$X = 5.8 \frac{km}{h}$
3.9Hz *	_____	$X = 6.9 \frac{km}{h}$
4.5Hz *	_____	$X = 8.0 \frac{km}{h}$

1.3.2 Para un plato con 40 celdas.

$$66rpm(2m) \left(10 \frac{sem.}{m} \right) = 1320 \frac{sem.}{m} \left(\frac{1}{40} celdas \right) = 33rpm_{plato}.$$

De acuerdo a la ecuación (1), se tiene:

$9.72rpm_{plato}$	_____	$1Hz$
$33rpm_{plato}$	_____	$X = 3.4Hz$

Es equivalente a 8 km/h.

Por regla de 3 simple, se calculó los demás datos:

3.4Hz	_____	$8 \frac{km}{h}$
1.5Hz *	_____	$X = 3.5 \frac{km}{h}$
1.9Hz *	_____	$X = 4.4 \frac{km}{h}$
2.3Hz *	_____	$X = 5.4 \frac{km}{h}$
2.7Hz *	_____	$X = 6.3 \frac{km}{h}$
3.1Hz *	_____	$X = 7.2 \frac{km}{h}$
3.5Hz *	_____	$X = 8.2 \frac{km}{h}$

1.3.3 Para un plato de 80 celdas.

$$66rpm(2m) \left(30 \frac{sem.}{m} \right) = 3960 \frac{sem.}{m} \left(\frac{1}{80} celdas \right) = 49.5rpm_{plato}.$$

De acuerdo a la ecuación (1), se tiene:

$9.72rpm_{plato}$	_____	$1Hz$
$49.5rpm_{plato}$	_____	$X = 5.0Hz$

Es equivalente a 8 km/h.

Por regla de 3 simple se calculó los demás datos:

$5.0Hz$	_____	$8 \frac{km}{h}$
$1.5Hz *$	_____	$X = 2.4 \frac{km}{h}$
$2.2Hz *$	_____	$X = 3.5 \frac{km}{h}$
$2.9Hz *$	_____	$X = 4.6 \frac{km}{h}$
$3.6Hz *$	_____	$X = 5.7 \frac{km}{h}$
$4.3Hz *$	_____	$X = 6.8 \frac{km}{h}$
$5.0Hz *$	_____	$X = 8 \frac{km}{h}$

* Son las velocidades (Hz) que se utilizaron en las pruebas, para determinar el porcentaje de llenado de celdas.

Anexo II

Datos de la evaluación para determinar el porcentaje de llenado de celdas.

Tabla 2.1 Datos de la evaluación utilizando un plato con 30 celdas "A" para maíz bola a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7			SR
	SR	ST	STC																			
1.5	311	258	320	287	251	287	277	251	277	304	260	315	293	258	302	292	254	295	315	270	339	302
2.1	484	445	490	462	439	462	479	449	490	470	445	476	484	451	497	471	445	477	484	448	494	478
2.7	746	707	746	733	718	744	747	718	758	762	707	762	755	716	764	739	712	744	736	712	741	756
3.3	847	820	847	841	828	850	847	834	862	780	837	797	725	850	752	743	847	768	822	831	834	826
3.9	805	1009	816	876	1014	891	975	996	975	856	1008	866	857	1006	866	876	1016	894	856	1000	860	897
4.5	912	1206	920	815	1212	826	723	1216	735	710	1212	720	713	1216	725	836	1184	828	593	1196	593	574

Tabla 2.2 Datos de la evaluación utilizando un plato con 30 celdas "A" para maíz plano medio a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7			SR
	SR	ST	STC																			
1.5	515	293	528	514	296	532	485	290	492	493	289	498	513	286	513	491	287	494	488	292	498	491
2.1	679	459	649	697	456	708	710	458	724	715	451	717	715	455	724	727	454	734	689	456	700	720
2.7	860	576	1017	870	569	1016	859	540	952	859	529	934	761	491	768	796	490	801	792	487	792	785
3.3	1197	872	1232	1226	878	1270	1156	911	1244	1180	901	1255	1167	917	1263	1102	906	1178	1143	909	1226	1133
3.9	1234	1012	1288	1220	990	1246	1254	1006	1301	1286	1009	1338	1221	989	1245	1224	976	1231	1256	977	1265	1212
4.5	1388	1139	1442	1346	1097	1346	1360	1148	1423	1404	1145	1466	1393	1133	1439	1364	1140	1418	1382	1142	1439	1386

Tabla 2.3 Datos de la evaluación utilizando un plato con 30 celdas "A" para maíz plano grande a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7			SR
	SR	ST	STC																			
1.5	373	306	378	370	303	372	364	305	368	382	302	382	371	305	375	373	308	380	391	319	414	372
2.1	581	494	604	571	486	583	555	484	568	571	481	578	574	478	578	564	475	564	562	475	562	557
2.7	751	645	776	709	634	721	722	633	732	725	624	725	713	627	716	728	634	740	719	646	744	757
3.3	920	840	948	911	844	944	948	865	1006	980	898	1080	977	901	1080	900	825	911	880	824	889	872
3.9	1081	1018	1175	1000	1009	1078	1100	1014	1191	1101	1012	1190	1086	1019	1182	1111	1027	1218	1097	1021	1196	1103
4.5	1219	1155	1225	1227	1149	1227	1214	1175	1242	1245	1186	1284	1284	1209	1351	1260	1205	1321	1254	1205	1314	1267

NOTA. R1,...,R10 repeticiones, SR semillas reales, ST semillas teóricas, STC semillas teóricas corregidas.

Tabla 2.4 Datos de la evaluación utilizando un plato con 30 celdas "B" para maíz bola a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7			SR
	SR	ST	STC																			
1.5	177	377	179	188	222	188	178	248	187	191	365	209	213	259	230	196	330	194	201	343	207	197
2.1	288	439	297	280	430	283	343	433	349	291	445	304	307	433	312	269	440	278	288	427	289	313
2.7	162	659	170	176	655	183	290	662	305	314	725	361	212	656	221	271	643	277	220	621	127	264
3.3	209	823	215	230	809	233	262	806	264	169	817	172	172	806	173	150	808	151	138	802	138	183
3.9	78	998	80	100	1006	103	153	995	155	239	981	239	200	1005	205	54	1014	56	50	1008	51	148
4.5	60	1164	61	13	1162	13	7	1170	7	2	1162	2	49	1156	49	10	1161	10	29	1156	29	103

Tabla 2.5 Datos de la evaluación utilizando un plato con 30 celdas "B" para maíz plano medio a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7			SR
	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	
1.5	268	280	320	257	245	268	240	242	247	222	246	233	297	252	319	280	242	289	300	242	309	289
2.1	394	411	422	445	395	459	438	398	455	461	398	479	426	397	411	545	394	466	430	395	443	447
2.7	364	301	670	626	586	645	629	575	635	611	578	620	573	575	579	632	572	635	637	5872	640	552
3.3	755	760	774	788	757	805	773	750	782	753	751	763	471	750	477	676	747	681	757	741	757	782
3.9	847	957	983	896	944	1026	854	942	976	764	942	874	790	944	905	867	935	984	869	935	986	913
4.5	961	1057	977	921	1057	937	707	1065	724	837	1060	853	874	1056	887	857	1040	857	604	1129	656	753

Tabla 2.6 Datos de la evaluación utilizando un plato con 30 celdas "B" para maíz plano grande a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7			SR
	SR	ST	STC																			
1.5	319	309	380	322	303	376	293	260	293	276	260	276	290	267	298	283	263	286	289	261	291	292
2.1	398	510	439	392	497	422	391	478	405	376	481	391	399	490	423	385	475	396	450	462	450	392
2.7	585	602	601	560	599	573	591	599	604	558	610	580	557	614	583	561	610	552	533	604	579	531
3.3	640	763	650	575	753	576	696	758	703	657	751	657	684	758	691	658	780	684	514	790	541	659
3.9	661	932	661	506	944	512	719	948	731	734	938	739	574	954	587	652	946	662	426	951	435	578
4.5	711	1079	739	650	1038	650	569	1043	571	434	1056	441	533	1075	552	598	1078	621	565	1085	590	306

NOTA. R1,...,R10 repeticiones, SR semillas reales, ST semillas teóricas, STC semillas teóricas corregidas.

Tabla 2.7 Datos de la evaluación utilizando un plato con 3 celdas para maíz bola a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7			SR
	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	
1.5	38	35	39	35	35	36	37	35	38	35	36	37	35	36	37	32	34	32	37	35	39	37
2.1	49	51	49	48	52	49	51	52	52	56	52	57	56	52	57	51	52	52	50	52	51	54
2.7	72	72	74	74	60	74	71	70	71	59	70	59	65	70	65	67	70	68	69	70	69	71
3.3	87	80	87	91	80	91	85	80	85	94	80	94	83	80	83	89	80	89	84	80	84	91
3.9	107	98	108	98	98	98	104	99	105	97	99	98	101	98	101	110	98	110	106	99	107	109
4.5	126	118	126	12	118	123	129	118	129	135	118	135	115	118	115	127	119	128	120	118	120	118

Tabla 2.8 Datos de la evaluación utilizando un plato con 3 celdas para maíz plano medio a 15 pulgadas de agua.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7			
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR
1.5	40	26	43	40	25	41	43	32	57	37	32	49	38	24	38	33	26	35	39	25	41	34
2.1	59	40	61	61	39	62	59	39	59	62	40	64	55	40	57	62	40	64	64	40	67	53
2.7	82	56	85	91	54	91	84	55	85	95	55	97	83	54	84	90	54	91	83	54	83	79
3.3	115	72	115	106	72	107	108	73	110	110	73	112	119	73	121	110	74	113	119	74	122	114
3.9	127	92	130	129	92	132	123	91	125	131	91	133	128	92	132	129	91	131	133	90	134	128
4.5	153	104	155	142	104	144	141	104	142	144	103	144	155	104	157	150	104	152	142	103	142	137

Tabla 2.9 Datos de la evaluación utilizando un plato con 3 celdas para maíz plano grande a 15 pulgadas de agua.

	R1			R2			R3			R4			R5		
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	37	36	38	38	36	39	38	36	40	40	36	41	35	35	35
2.1	68	45	72	53	45	56	61	43	63	57	43	69	61	42	61
2.7	73	53	73	73	54	75	73	53	74	80	54	82	72	54	74
3.3	94	81	95	92	81	93	94	81	94	98	81	99	99	81	99
3.9	117	100	118	121	100	123	112	100	114	129	100	130	115	99	115
4.5	136	116	137	134	116	134	135	116	135	137	115	137	134	116	135

NOTA. R1,...,R10 repeticiones, SR semillas reales, ST semillas teóricas, STC semillas teóricas corregidas.

Tabla 2.10 Datos de la evaluación utilizando un plato con 40 celdas para maíz bola a 15 pulgadas de agua.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7			
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR
1.5	436	424	438	447	424	449	443	426	447	465	426	469	448	428	454	445	430	453	441	422	441	440
1.9	607	587	632	610	591	639	592	585	614	605	583	626	577	570	583	579	564	579	600	570	606	589
2.3	736	729	748	753	735	771	747	731	761	736	731	750	752	735	770	740	731	754	747	731	757	736
2.7	907	900	907	904	904	908	921	902	923	923	910	933	902	904	906	920	900	920	923	912	935	920
3.1	1063	1077	1130	1027	1060	1074	1063	1056	1108	1021	1029	1037	1013	1038	1038	1036	1025	1048	1025	1023	1035	1015
3.5	1181	1188	1187	1170	1182	1170	1176	1198	1191	1149	1192	1158	1177	1196	1191	1154	1194	1165	1188	1204	1209	1147

Tabla 2.11 Datos de la evaluación utilizando un plato con 40 celdas para maíz plano medio a 15 pulgadas de agua.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7			
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR
1.5	527	434	562	530	432	563	515	424	537	532	430	563	498	430	527	506	408	508	516	406	516	504
1.9	642	543	642	639	546	644	688	544	690	664	550	674	662	552	674	674	552	686	629	554	643	621
2.3	834	718	841	816	727	834	817	716	821	832	712	832	844	743	881	814	741	847	847	719	856	844
2.7	1003	883	1016	1006	875	1010	1014	879	1023	1016	875	1021	1005	881	1016	986	873	988	1008	877	1015	987
3.1	1200	1050	1234	1178	1050	1212	1130	1036	1147	1148	1036	1165	1143	1029	1152	1132	1023	1134	1143	1023	1148	1181

3.5	1284	1200	1316	1322	1198	1353	1303	1200	1335	1313	1190	1335	1292	1186	1309	1298	1200	1330	1278	1180	1289	1289
-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabla 2.12 Datos de la evaluación utilizando un plato con 40 celdas para maíz plano grande a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7			SR		
	SR	ST	STC		SR	ST																		
1.5	407	395	415	412	391	416	423	406	444	412	451	480	427	391	431	414	391	418	409	395	417	412		
1.9	593	556	593	588	566	598	590	568	602	579	558	581	572	556	572	569	568	581	578	558	580	580		
2.3	739	714	749	732	712	740	730	712	738	737	706	739	730	704	730	721	712	729	711	708	715	712		
2.7	829	859	842	845	850	849	866	854	874	853	846	853	873	852	879	897	854	905	886	856	896	897		
3.1	1059	1033	1083	1038	1031	1060	1065	1029	1086	1057	1017	1065	1034	1011	1036	1034	1015	1040	1026	1017	1034	1040		
3.5	1251	1219	1271	1218	1217	1236	1245	1215	1261	1202	1209	1212	1223	1211	1235	1217	1208	1225	1214	1200	1214	1211		

NOTA. R1,...,R10 repeticiones, SR semillas reales, ST semillas teóricas, STC semillas teóricas corregidas.

Tabla 2.13 Datos de la evaluación utilizando un plato con 80 celdas para soya a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7			SR		
	SR	ST	STC		SR	ST																		
1.5	487	353	506	432	351	499	477	349	489	475	346	483	468	341	470	482	343	486	483	344	489	479		
2.2	741	537	743	739	538	743	733	538	737	733	537	735	738	540	744	723	541	431	736	540	742	734		
2.9	1016	773	1034	1007	770	1021	1030	771	1046	1022	766	1030	1005	760	1005	1011	763	1015	979	767	988	1017		
3.6	1228	963	1239	1225	958	1231	1197	965	1212	1215	957	1219	1201	960	1208	1231	957	1235	1224	957	1228	1196		
4.3	1374	1178	1388	1376	1173	1383	1374	1173	1381	1350	1171	1355	1357	1170	1360	1355	1181	1372	1356	1174	1364	1333		
5.0	1480	1368	1483	1428	1380	1443	1440	1365	1440	1414	1372	1422	1429	1371	1435	1447	1366	1449	1491	1369	1496	1420		

Tabla 2.14 Datos de la evaluación utilizando un plato con 3 celdas con un diámetro de succión de 11/64 para maíz bola a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7			SR		
	SR	ST	STC		SR	ST																		
1.5	34	36	34	35	36	35	36	36	36	40	36	40	35	37	36	37	37	38	40	36	40	34		
2.1	58	54	58	53	55	53	47	54	57	53	55	54	51	55	51	51	55	51	52	54	52	53		
2.7	59	71	59	64	71	64	65	71	66	65	71	65	66	71	66	64	71	64	63	71	63	63		
3.3	65	89	65	63	89	63	64	89	64	69	89	70	69	89	69	66	89	66	66	89	66	61		
3.9	72	107	72	54	107	54	77	108	77	61	108	61	50	108	50	61	107	61	56	107	56	59		

Tabla 2.15 Datos de la evaluación utilizando un plato con 3 celdas con un diámetro de succión de 11/64 para maíz plano medio a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5		
	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	46	34	48	41	33	42	45	33	46	45	33	45	43	33	43
2.1	54	49	54	59	50	61	56	49	57	55	49	55	57	49	57
2.7	77	67	77	80	69	83	81	69	83	81	69	83	75	69	78
3.3	90	87	90	98	87	98	94	87	94	91	87	91	98	87	98

3.9	113	105	113	110	105	110	115	105	116	110	105	110	100	105	100
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

NOTA. R1,...,R10 repeticiones, SR semillas reales, ST semillas teóricas, STC semillas teóricas corregidas.

Tabla 2.16 Datos de la evaluación utilizando un plato con 3 celdas con un diámetro de succión de 11/64 para maíz plano grande a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5		
	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	35	34	36	41	34	41	38	34	38	41	34	42	38	34	38
2.1	59	54	61	58	54	61	60	54	63	54	51	54	58	52	59
2.7	72	70	72	79	73	83	76	73	79	80	72	82	76	72	78
3.3	94	89	94	98	89	98	96	89	96	98	89	98	91	89	91
3.9	98	105	101	96	103	97	104	103	104	99	106	102	90	106	93

Tabla 2.17 Datos de la evaluación utilizando un plato con 3 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz bola a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5		
	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	40	38	40	37	39	37	39	39	39	40	38	40	40	39	40
2.1	58	55	58	51	55	51	60	55	60	52	55	52	55	55	55
2.7	71	75	71	67	75	67	77	75	77	66	75	67	62	76	63
3.3	84	94	85	87	93	87	84	94	85	86	93	86	84	93	84
3.9	88	111	88	94	112	94	87	111	87	81	112	81	73	112	74
4.5	92	128	92	84	129	85	80	129	81	83	129	84	71	128	71

Tabla 2.18 Datos de la evaluación utilizando un plato con 3 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz plano medio a 15 pulgadas de agua.

HZ	R1			R2			R3			R4			R5		
	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	42	39	43	47	38	47	47	39	47	45	39	46	44	38	44
2.1	67	51	69	60	51	61	61	51	62	57	50	57	62	52	64
2.7	89	68	89	86	68	87	85	68	85	83	68	83	89	68	89
3.3	108	88	109	95	88	95	115	88	116	97	88	98	103	89	105
3.9	118	105	118	123	106	124	119	106	119	116	105	116	121	106	122
4.5	134	121	134	137	121	137	128	123	131	146	122	148	128	122	129

NOTA. R1,...,R10 repeticiones, SR semillas reales, ST semillas teóricas, STC semillas teóricas corregidas.

Tabla 2.19 Datos de la evaluación utilizando un plato con 3 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz plano grande a 15 pulgadas de agua.

R1	R2	R3	R4	R5
----	----	----	----	----

HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	42	40	42	48	40	48	42	41	43	44	41	46	45	40	45
2.1	73	56	73	71	56	72	65	57	66	57	56	57	60	56	61
2.7	86	75	86	83	75	83	84	75	85	86	75	87	82	75	82
3.3	97	90	100	100	91	103	99	91	103	97	90	99	94	88	94
3.9	118	110	120	116	108	116	109	110	111	108	110	110	118	109	119
4.5	125	126	125	131	127	132	128	128	130	131	128	132	128	128	130

Tabla 2.20 Datos de la evaluación utilizando un plato con 4 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz bola a 15 pulgadas de agua.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	31	38	31	32	39	33	35	38	36	35	38	36	35	39	36	39	38	40	38	38	38
1.9	48	54	49	50	55	51	52	56	54	43	55	44	54	56	56	45	56	47	52	54	52
2.3	60	72	64	54	70	55	60	70	62	60	69	61	63	69	64	61	68	61	59	70	61
2.7	71	85	71	71	86	72	67	88	69	75	87	77	58	85	59	67	86	68	61	86	62
3.1	76	102	76	81	703	82	65	103	65	77	104	78	67	107	70	69	104	70	81	104	82
3.5	85	119	87	86	120	88	75	119	77	81	117	81	90	117	90	87	118	88	383	117	83

Tabla 2.21 Datos de la evaluación utilizando un plato con 4 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz plano medio a 15 pulgadas de agua.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	41	40	44	45	39	48	40	38	40	42	37	42	37	38	38	41	38	42	48	38	49
1.9	56	53	58	65	54	68	55	53	56	56	53	57	58	52	58	54	52	54	57	52	57
2.3	79	69	80	83	68	83	77	69	78	80	69	81	75	69	76	70	69	71	74	69	75
2.7	87	85	88	88	84	88	87	85	87	89	85	91	94	85	95	88	85	89	88	86	89
3.1	103	99	103	103	99	103	106	100	107	105	100	106	100	100	101	107	99	107	107	99	107
3.5	119	115	119	116	115	116	121	115	121	121	115	121	119	115	119	119	115	119	129	115	129

NOTA. R1,...,R10 repeticiones, SR semillas reales, ST semillas teóricas, STC semillas teóricas corregidas.

Tabla 2.22 Datos de la evaluación utilizando un plato con 4 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz plano grande a 15 pulgadas de agua.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	46	41	47	45	42	46	45	41	46	46	42	47	44	42	45	42	41	42	41	41	41
1.9	59	58	61	56	56	56	49	56	49	57	56	57	56	57	57	55	56	55	51	56	51
2.3	71	69	72	71	69	72	70	69	70	69	69	69	68	69	68	68	69	69	72	69	73
2.7	92	85	93	89	84	89	84	87	87	84	85	85	90	84	90	90	85	91	88	85	89
3.1	106	101	107	103	101	104	102	101	103	97	100	97	104	100	104	99	100	99	100	101	101
3.5	122	116	124	119	116	120	115	117	117	114	116	116	120	116	121	116	115	116	116	116	117

Tabla 2.23 Datos de la evaluación de un plato con 4 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz bola a 15 pulgadas de agua, 1er diseño de celda.

R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
----	----	----	----	----	----	----

HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	43	42	48	44	43	50	47	43	53	43	43	49	44	42	49	45	43	51	42	42	47
1.9	59	59	65	52	60	58	56	57	59	56	58	60	56	58	60	58	60	64	52	60	57
2.3	70	74	76	71	74	77	70	73	76	70	74	76	71	73	77	71	74	77	74	73	80
2.7	82	86	83	82	86	83	91	87	93	81	87	85	82	88	85	85	87	88	83	88	86
3.1	100	104	102	97	104	98	99	104	101	92	105	94	91	105	93	96	105	99	98	105	10
3.5	110	121	114	113	121	117	116	122	121	114	121	118	108	120	111	111	121	115	116	121	120

Tabla 2.24 Datos de la evaluación de un plato con 4 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz plano medio a 15 pulgadas de agua, 1er diseño de celda.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	59	44	69	60	45	72	58	44	69	50	44	69	56	44	66	51	44	60	49	44	57
1.9	61	59	69	72	59	82	71	59	81	66	57	73	69	57	76	65	57	72	68	57	75
2.3	87	71	91	83	71	87	79	74	85	83	72	87	80	71	83	80	71	83	80	70	83
2.7	97	84	97	89	84	89	93	94	93	95	84	95	85	83	94	88	84	87	92	84	91
3.1	119	100	120	114	100	115	106	100	107	121	100	122	121	100	122	109	100	110	110	100	111
3.5	121	113	119	141	115	141	130	115	130	132	115	132	139	115	139	121	114	120	123	114	122

NOTA. R1,...,R10 repeticiones, SR semillas reales, ST semillas teóricas, STC semillas teóricas corregidas.

Tabla 2.25 Datos de la evaluación de un plato con 4 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz plano grande a 15 pulgadas de agua, 1er diseño de celda.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	46	44	49	46	43	49	45	42	47	49	42	51	46	42	48	49	42	51	43	42	44
1.9	67	58	69	61	57	62	61	55	60	50	55	59	59	55	58	57	55	56	55	55	54
2.3	74	71	76	72	68	72	72	69	72	73	69	73	73	69	73	72	69	73	74	68	74
2.7	86	86	88	85	85	87	94	86	96	87	85	89	88	85	90	79	84	89	88	84	88
3.1	102	99	101	97	97	94	102	96	98	96	96	92	100	97	97	110	97	107	110	98	108
3.5	112	111	108	115	11	111	115	112	112	125	112	122	120	112	117	121	112	118	117	112	114

Tabla 2.26 Datos de la evaluación de un plato con 4 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz bola a 18 pulgadas de agua, 1er diseño de celda.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	26	25	26	26	25	26	28	25	28	27	25	27	26	25	26	27	26	28	26	25	26
1.9	42	42	44	38	41	39	41	41	42	44	40	45	41	40	42	41	39	41	43	40	43
2.3	52	53	54	50	53	52	53	51	53	54	52	55	55	53	57	53	55	57	56	53	59
2.7	86	84	86	89	84	89	90	85	91	84	86	86	82	85	83	88	86	90	89	85	90

3.1	112	106	116	110	105	113	107	104	109	102	102	102	114	103	115	104	103	105	106	102	106
3.5	130	125	133	128	124	130	121	124	123	125	123	126	127	122	127	129	124	131	129	123	130

Tabla 2.27 Datos de la evaluación de un plato con 4 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz plano medio a 12 pulgadas de agua, 1er diseño de celda.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	61	48	64	49	47	50	52	47	54	52	48	54	47	47	48	55	47	46	49	46	49
1.9	66	59	67	63	58	63	62	59	63	63	59	64	66	59	67	65	59	66	61	59	62
2.3	84	74	87	76	74	78	84	74	86	84	74	86	79	73	80	83	72	83	83	73	84
2.7	101	88	101	105	88	105	100	88	100	103	88	103	99	87	99	97	88	97	96	88	96
3.1	114	103	115	110	103	111	112	103	112	111	103	111	109	102	109	120	104	122	108	103	109
3.5	138	117	140	130	117	132	132	117	133	132	116	132	125	116	125	131	116	131	124	116	124

NOTA. R1,...,R10 repeticiones, SR semillas reales, ST semillas teóricas, STC semillas teóricas corregidas.

Tabla 2.28 Datos de la evaluación de un plato con 4 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz plano grande a 12 pulgadas de agua, 1er diseño de celda.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	46	44	48	46	43	47	45	42	46	49	42	49	46	42	47	49	42	49	43	42	43
1.9	59	55	59	57	55	57	55	55	55	61	57	63	61	55	61	60	57	62	67	58	71
2.3	74	71	77	72	69	72	72	69	72	73	69	74	73	69	74	72	69	73	74	68	74
2.7	86	86	88	85	85	87	94	86	96	87	85	89	88	85	89	89	84	89	88	84	88
3.1	102	99	105	95	97	96	102	96	102	96	96	96	100	97	101	110	97	111	110	98	112
3.5	112	111	112	115	111	115	115	112	116	125	112	126	120	112	121	121	112	122	117	112	118

Tabla 2.29 Datos de la evaluación de un plato con 4 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz bola a 15 pulgadas de agua, 2º diseño de celda.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	40	39	40	42	42	45	40	41	42	41	42	44	40	41	42	41	41	42	40	39	40
1.9	55	53	57	54	52	55	50	51	51	44	51	44	50	51	50	58	52	60	52	51	52
2.3	77	78	82	74	78	79	72	74	73	81	74	82	80	73	80	85	73	85	73	74	74
2.7	90	87	90	86	87	86	87	88	88	84	88	86	93	88	94	82	89	85	88	88	90
3.1	110	103	110	113	103	113	105	106	108	108	107	112	109	106	112	102	105	104	105	106	108
3.5	117	118	118	110	117	110	115	118	117	116	120	119	117	119	120	116	120	118	113	119	115

Tabla 2.30 Datos de la evaluación de un plato con 4 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz plano medio a 12 pulgadas de agua, 2º diseño de celda.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
HZ	SR	ST	STC																		
1.5	57	49	58	56	49	57	50	49	50	49	49	50	54	49	54	50	49	50	51	50	53

1.9	66	65	68	63	64	64	68	64	69	67	67	72	69	65	72	63	64	64	68	67	73
2.3	83	80	84	91	80	91	89	80	89	82	80	83	92	80	92	88	80	88	81	80	81
2.7	96	94	97	107	94	109	100	94	101	101	94	102	97	94	98	103	94	104	100	95	102
3.1	115	111	119	108	107	108	117	107	117	114	109	116	118	112	123	106	109	107	112	108	113
3.5	125	123	127	126	123	128	122	123	124	128	123	130	140	126	146	139	123	142	130	126	135

NOTA. R1,...,R10 repeticiones, SR semillas reales, ST semillas teóricas, STC semillas teóricas corregidas.

Tabla 2.31 Datos de la evaluación de un plato con 4 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz plano grande a 15 pulgadas de agua, 2° diseño de celda.

	R1			R2			R3			R4			R5			R6			R7		
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	52	48	52	53	48	53	53	48	53	53	48	53	53	48	54	52	49	53	501	49	51
1.9	69	61	69	60	61	61	63	62	64	68	62	71	69	62	71	69	61	70	62	61	63
2.3	76	75	76	77	78	80	77	78	80	76	76	77	79	77	81	77	75	77	75	75	75
2.7	88	90	88	92	89	92	91	89	91	94	92	97	91	91	93	89	91	91	90	91	92
3.1	107	107	110	99	103	99	103	103	103	108	105	109	108	104	108	100	104	101	101	104	102
3.5	117	121	121	117	120	120	124	119	126	112	119	113	122	120	125	123	120	125	117	117	117

Tabla 2.32 Datos de la evaluación de un plato con 4 celdas con un diámetro de succión de 5/32 para maíz plano medio a 10 pulgadas de agua, 2° diseño de celda.

	R1			R2			R3			R4			R5		
HZ	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC	SR	ST	STC
1.5	50	51	50	55	51	55	53	51	53	57	52	58	52	51	52
1.9	68	65	68	67	65	67	69	65	69	70	65	70	70	65	70
2.3	86	81	87	84	81	85	84	81	85	83	81	84	84	80	84
2.7	108	97	112	94	97	97	104	97	107	95	97	97	108	97	111
3.1	113	110	113	118	112	120	109	113	112	114	111	115	118	111	118
3.5	130	126	131	123	125	123	115	115	115	127	125	127	129	125	129

NOTA. R1,...,R10 repeticiones, SR semillas reales, ST semillas teóricas, STC semillas teóricas corregidas.

ANEXO III

Tabla 3.1 Análisis de varianza. Plato con 30 celdas "A" probado con maíz bola*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	23193.625	4638.725	112.967	0.000
Error	54	2217.375	41.063		
Total	59	25411.000			

Tabla 3.2 Análisis de varianza. Plato con 30 celdas "A" probado con maíz plano medio*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	22471.125	4494.225	205.995	0.000
Error	54	1178.125	21.817		
Total	59	23649.250			

Tabla 3.3 Análisis de varianza. Plato con 30 celdas "A" probado con maíz plano grande*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	1533.125	306.625	28.846	0.000
Error	54	574.000	10.629		
Total	59	2107.125			

Tabla 3.4 Análisis de varianza. Plato con 30 celdas "B" probado con maíz bola*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	32774.070	6554.813	190.430	0.000
Error	54	1858.742	34.421		
Total	59	34632.812			

Tabla 3.5 Análisis de varianza. Plato con 30 celdas "B" probado con maíz plano medio*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	8795.687	1759.137	19.538	0.000
Error	54	4861.750	90.032		
Total	59	13657.437			

Tabla 3.6 Análisis de varianza. Plato con 30 celdas "B" probado con maíz plano grande*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	23901.156	4780.231	56.922	0.000
Error	54	4534.781	83.977		
Total	59	28435.937			

Tabla 3.7 Análisis de varianza. Plato con 3 celdas probado con maíz bola*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	1020.313	204.062	6.618	0.000
Error	54	1664.875	30.831		
Total	59	2685.187			

Tabla 3.8 Análisis de varianza. Plato con 3 celdas probado con maíz plano medio*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	3043.625	608.724	7.350	0.000
Error	54	4471.875	82.812		
Total	59	7515.500			

* 15 Pulgadas de Agua.

Tabla 3.9 Análisis de varianza. Plato con 3 celdas probado con maíz plano grande*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	5781.187	1156.237	21.154	0.000
Error	54	1311.781	54.657		
Total	59	7092.968			

Tabla 3.10 Análisis de varianza. Plato con 40 celdas probado con maíz bola*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	341.687	68.337	24.819	0.000
Error	54	148.687	2.753		
Total	59	490.375			

Tabla 3.11 Análisis de varianza. Plato con 40 celdas probado con maíz plano medio*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	1591.000	318.200	61.312	0.000
Error	54	280.250	5.189		
Total	59	1871.250			

Tabla 3.12 Análisis de varianza. Plato con 40 celdas probado con maíz plano grande*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	162.000	32.400	10.917	0.000
Error	54	160.250	2.967		
Total	59	322.250			

Tabla 3.13 Análisis de varianza. Plato con 80 celdas probado con soya*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	8984.500	1796.900	466.783	0.000
Error	54	207.875	3.849		
Total	59	9192.375			

Tabla 3.14 Análisis de varianza. Diámetro de succión 4.3 mm, plato con 3 celdas probado con maíz bola*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	12240.968	3060.242	90.504	0.000
Error	45	1521.593	33.813		
Total	49	13762.562			

Tabla 3.15 Análisis de varianza. Diámetro de succión 4.3 mm, plato con 3 celdas probado con maíz plano medio*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	2825.093	706.273	29.779	0.000
Error	20	474.343	23.717		
Total	24	3299.437			

Tabla 3.16 Análisis de varianza. Diámetro de succión 4.3 mm, plato con 3 celdas probado con maíz plano grande*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	4	1134.843	283.710	10.887	0.000
Error	20	521.187	26.059		
Total	24	1656.031			

Tabla 3.17 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, plato con 3 celdas probado con maíz bola*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	5548.594	1109.718	32.187	0.000
Error	24	827.390	34.474		
Total	29	6375.984			

Tabla 3.18 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, plato con 3 celdas probado con maíz plano medio*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	871.468	174.293	4.527	0.005
Error	24	924.000	38.500		
Total	29	1795.468			

Tabla 3.19 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, plato con 3 celdas probado con maíz plano grande*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	768.000	153.600	4.015	0.009
Error	24	917.937	38.247		
Total	29	1685.937			

Tabla 3.20 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, plato con 4 celdas probado con maíz bola*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	3179.812	635.962	15.877	0.000
Error	36	1442.000	40.055		
Total	41	4621.812			

Tabla 3.21 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, plato con 4 celdas probado con maíz plano medio*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	520.375	104.074	2.997	0.023
Error	36	1250.000	34.722		
Total	41	1770.375			

Tabla 3.22 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, plato con 3 celdas probado con maíz plano grande*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	418.250	83.650	4.669	0.002
Error	36	644.937	17.914		
Total	41	1063.187			

Tabla 3.23 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, primer diseño de celda probado con maíz bola*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	2423.500	484.700	34.970	0.000
Error	36	498.843	13.856		
Total	41	2922.313			

Tabla 3.24 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, primer diseño de celda probado con maíz plano medio*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	6683.500	1336.699	24.305	0.000
Error	36	1979.812	54.994		
Total	41	8663.312			

Tabla 3.25 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, primer diseño de celda probado con maíz plano grande*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	610.656	122.131	5.481	0.001
Error	36	802.062	22.279		
Total	41	1412.718			

Tabla 3.26 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, primer diseño de celda probado con maíz bola a 18 pulgadas de agua.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	20.281	4.056	0.287	0.916
Error	36	508.312	14.119		
Total	41	528.593			

Tabla 3.27 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, primer diseño de celda probado con maíz plano medio a 12 pulgadas de agua.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	169.125	33.825	1.126	0.364
Error	36	1081.062	30.029		
Total	41	1250.187			

Tabla 3.28 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, segundo diseño de celda probado con maíz bola*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	272.343	54.468	2.036	0.096
Error	36	963.031	26.750		
Total	41	1235.375			

Tabla 3.29 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, segundo diseño de celda probado con maíz plano medio a 10 pulgadas de agua*.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	176.031	35.206	1.720	0.168
Error	24	491.031	20.459		
Total	29	667.062			

Tabla 3.30 Análisis de varianza. Diámetro de succión 3.9 mm, segundo diseño de celda probado con maíz plano grande.

F. V.	GL	SC	CM	F	P>F
-------	----	----	----	---	-----

Tratamientos	5	566.500	113.300	8.263	0.000
Error	36	493.593	13.710		
Total	41	1060.093			
