



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E  
INDUSTRIAL**

Diseño mecánico de una máquina llenadora  
de microplacas para la industria bioquímica:  
Una experiencia de colaboración  
internacional

**T E S I S**  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECATRÓNICO**

**PRESENTA:**  
**JORGE LUIS RIVEROS GILARDI**



**DIRECTOR DE TESIS:**  
**DR. VÍCTOR JAVIER GONZÁLEZ VILLELA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO**

**2012**

# Dedicatoria y Agradecimientos

A Dios, por darme la vida, salud y tantos otros privilegios como la oportunidad de estudiar.

A mis padres Berta Gilardi y Martínez de Castro y Jorge Luis Riveros Miranda, quienes han sido mi guía y apoyo incondicional en esta y todas las etapas de mi vida.

A mis hermanos Berta Riveros Gilardi y Alejandro Riveros Gilardi que junto con mis padres han estado siempre ahí para mí.

A mis familiares y amigos, por su ayuda y afecto a cada paso.

A la UNAM, por haberme permitido crecer y desarrollarme dentro y fuera de sus aulas no sólo como estudiante y futuro profesionista sino como ser humano.

A mis profesores, por proporcionarme experiencias y conocimientos mucho más allá de lo establecido los temarios y por haberme brindado su amistad.

A mis sinodales, Mtra. Alejandra Vargas Espinoza de los Monteros, Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich, Dr. Marcelo López Parra y Mtro. Octavio Díaz Hernández por sus aportaciones, entusiasmo y esfuerzo para ayudarme desarrollar el presente trabajo.

Al Dr. Víctor Javier González Villela que más que un profesor y director de tesis ha sido para mí un mentor durante la carrera.

# Índice

Índice .....	i
Tabla de Figuras .....	iv
Resumen .....	1
Contexto .....	1
Objetivo .....	1
Metodología .....	1
Resultados .....	1
Conclusiones .....	2
Introducción .....	3
Evolución Histórica de las Microplacas .....	3
Evolución de la Instrumentación para las Microplacas .....	3
Evolución de las Aplicaciones de las Microplacas .....	4
Mercado de las Microplacas e Instrumentos Complementarios.....	5
Manipulación de Líquidos: Un nicho de Oportunidad .....	5
Trascendencia y complejidad de proyectos de colaboración internacional e interinstitucional .....	5
Dinámica de Trabajo del proyecto de Colaboración Internacional UNAM-Loughbrough University .....	6
Metodología de Diseño Empleada .....	7
Desarrollo.....	8
Planeación del Producto (Delimitación del Problema de Diseño).....	8
Identificación de un Nicho de Oportunidad.....	8
Planeación de Tiempos, creación de equipos .....	8
Caracterización del Ámbito de uso .....	8
Identificación de las Necesidades del Usuario.....	9
Entrevistas .....	9
Observación del producto en uso .....	11
Interpretación de la investigación en términos de las necesidades de usuario.....	11
Organización jerárquica e importancia relativa de las necesidades (general a específico) .....	13
Conclusiones de la Etapa.....	13

Especificación del Producto .....	13
Preparación de una lista de Métricas .....	14
Recolección de información de productos similares (benchmarking) .....	16
Definición de valores objetivo ideales y marginales.....	17
Conclusiones de la Etapa.....	20
Generación de Conceptos.....	20
Clarificación del Problema de Diseño.....	20
Descomposición en Subsistemas .....	20
Investigación de Alternativas por Subsistema .....	23
Propuestas de Conceptos por Subsistema .....	23
Conclusiones de la Etapa.....	25
Selección de Conceptos .....	25
Construcción de la matriz de selección.....	26
Evaluación de Conceptos.....	26
Selección del concepto a desarrollar.....	31
Conclusiones de la etapa .....	31
Diseño Asistido por Computadora .....	31
Software Utilizado.....	32
Búsqueda de partes existentes en el mercado.....	32
Desarrollo de modelos computarizados por subsistema.....	33
Integración de subsistemas .....	33
CAD final .....	33
Conclusiones de la etapa .....	35
Evaluación, Análisis y Alcances del Concepto Final.....	35
Ciclo de Trabajo del Diseño Final .....	35
Análisis de Tiempos .....	37
Análisis de Deformación por peso, deflexión .....	37
Contraste con el conjunto inicial de valores ideales y marginales propuestos para cada métrica ..	37
Conclusiones de la etapa .....	39
Conclusiones .....	40



Conclusiones del Ejercicio de Diseño .....	40
Conclusiones sobre la metodología empleada .....	40
Diseño internacional.....	40
Otras observaciones finales.....	40
Conclusiones y propuesta de siguientes pasos para el producto desarrollado.....	41
Alcances y limitaciones del diseño propuesto.....	41
Trabajos posteriores.....	41
Discusión final .....	42
Apéndices .....	44
Apéndice 1.1 Norma ANSI/SBS 1-2004.....	45
Apéndice 1.2 Norma ANSI/SBS 2-2004.....	53
Apéndice 1.3 Norma ANSI/SBS 3-2004.....	62
Apéndice 1.4 Norma ANSI/SBS 4-2004.....	72
Apéndice 2 Plan de Trabajo en MsProject .....	85
Apéndice 3.1 Entrevista con el Dr. Darko Butina.....	87
Apéndice 3.2 Entrevista con Iva Buzancic.....	88
Apéndice 3.3 Entrevista con Gianella García.....	90
Apéndice 3.4 Entrevista con Emma Duncan.....	91
Apéndice 3.5 Resumen de la entrevista con el Dr. Jorge Ramírez .....	92
Apéndice 3.6 Resultados del cuestionario inicial en una Escala Likert de 5 puntos .....	93
Apéndice 4.1 Especificaciones del cabezal piezoeléctrico XAAR 1001 con bomba .....	94
Apéndice 4.2 Especificaciones del Cartesiano .....	100
Apéndice 4.3 Especificaciones de la banda transportadora.....	102
Apéndice 4.4 Especificaciones de la cámara COGNEX .....	104
Apéndice 4.5 Especificaciones touchscreen Vartech .....	105
Apéndice 5.1 Análisis de Tiempos.....	110
Apéndice 5.2 Análisis de elemento finito para deformación de Cabezal.....	118
Bibliografía .....	123

# Tabla de Figuras

Figura 0. Equipos A,B,C,D y E México y equipo D de UK .....	2
Figura 1. Comercialización de las microplacas e instrumentos complementarios.....	4
Figura 2. Microplaca de 96 pozos.....	6
Tabla 1.Tabla de necesidades observadas en las entrevistas .....	12
Tabla 2. Matriz de necesidades-métricas .....	15
Tabla 3. Métricas priorizadas y unidades respectivas .....	16
Tabla 4. Benchmark de máquinas llenadoras de microplacas .....	17
Tabla 5. Valores marginales e ideales propuestos .....	19
Tabla 6. Subsistemas del diseño conceptual.....	21
Tabla 7. Matriz de implicaciones de interacción entre subsistemas .....	22
Tabla 8. Propuestas preliminares para el subsistema de manejo de fluidos.....	23
Tabla 9. Propuestas preliminares para el subsistema de movimiento del dispensador .....	24
Tabla 10. Propuestas preliminares para el subsistema de movimiento de la microplaca .....	24
Tabla 11. Propuestas preliminares para el subsistema de almacenamiento de las microplacas.....	24
Tabla 12. Propuestas preliminares para el subsistema de reconocimiento de las microplacas.....	25
Tabla 13. Propuestas preliminares para el subsistema de interfaz de usuario .....	25
Tabla 14. Ejemplo esquemático de matriz de selección para un subsistema .....	26
Tabla 15. Matriz de selección para el subsistema de manejo de fluidos.....	27
Tabla 16. Matriz de selección para el subsistema de movimiento del dispensador .....	27
Tabla 17. Matriz de selección para el subsistema de movimiento de la microplaca .....	28
Tabla 18. Matriz de selección para el subsistema de almacenamiento de las microplacas.....	29
Tabla 19. Matriz de selección para el subsistema de reconocimiento de las microplacas.....	30
Tabla 20. Matriz de selección para el subsistema de interfaz de usuario .....	30
Tabla 21. Conceptos seleccionados a desarrollar por subsistema.....	31
Tabla 22. Opciones identificadas para cada subsistema.....	32
Figura 3. Diseño computarizado de la máquina .....	34
Figura 4. Diagrama de flujo del ciclo de trabajo del diseño propuesto .....	36
Tabla 23. Contraste con el conjunto inicial de métricas.....	38
Figura 5. Detalle de costos de los componentes de la máquina .....	43

# Resumen

## CONTEXTO

El presente trabajo surge a partir de la interacción cada vez más frecuente entre la industria y la academia, así como de colaboración a distancia entre instituciones. A través de una propuesta de colaboración conjunta, profesores de la Universidad de Loughborough, Reino Unido y la UNAM desarrollaron un curso de diseño en el que estudiantes de nivel licenciatura trabajarían en el diseño mecánico de una máquina llenadora de microplacas (Figura 0), bajo propuesta de la compañía *Alpha Innotech*, ubicada en *Silicon Valley, California* (EUA).

## OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo consiste en documentar el proceso de diseño seguido para la creación de nuestra propuesta de máquina llenadora de microplacas; mostrando la metodología utilizada así como los resultados y siguientes pasos propuestos para el proyecto en caso de querer fabricar un producto comercial.

## METODOLOGÍA

La metodología empleada para el proceso de diseño se encuentra detallada en los capítulos 4, 5, 6 y 7 del libro "*Product Design and Development*" (Ulrich, et. al.)<sup>V</sup>. En estos capítulos el autor profundiza en el diseño de producto y lo divide en cinco etapas principales:

- Planeación del producto
- Identificación de las necesidades del usuario
- Determinación de las especificaciones del producto
- Generación de conceptos
- Selección de conceptos

Adicionalmente, durante el proceso desarrollamos pequeñas variaciones a la metodología original que se ajustaban a nuestras necesidades específicas de diseño.

## RESULTADOS

Como resultado del proceso de diseño, se logró desarrollar un modelo computarizado de la máquina propuesta, adicionalmente, se realizaron análisis que nos permitieran caracterizar las especificaciones de nuestro diseño, particularmente en las métricas de volumen de manejo de fluidos (que se traduce en velocidad de llenado de una placa) y resolución del dispensador las cuales se encuentran por encima de los valores marginales propuestos. Estos resultados son un indicador positivo sobre las posibilidades de continuar con el desarrollo del producto y de su probable éxito comercial ya que los

valores marginales fueron definidos para desarrollar una máquina que pudiera competir exitosamente en el mercado.

Estos resultados fueron alcanzados primordialmente debido a la innovación en el diseño de la máquina, en la que en lugar de utilizar sistemas tradicionales de inyección de fluidos, propusimos utilizar una tecnología de inyección de tinta. Esta propuesta permitiría aventajar a las máquinas existentes en el mercado en varios órdenes de magnitud, centrando el reto de diseño en la velocidad de llenado de las placas. La solución a este reto consistió en diseñar un ciclo de trabajo en el que las placas se llenan mientras se mueven a través de una banda transportadora, por lo que se minimizan los tiempos muertos en el ciclo de trabajo.

En adición a los resultados del ejercicio en términos del diseño, el proyecto confirmó exitosamente la posibilidad de colaboración internacional en un ambiente académico para proyectos de diseño, superando retos de logística (los equipos trabajaban con 6 horas de diferencia en horario), diferencias en las herramientas de trabajo (los equipos trabajaban con versiones distintas de *software*) y posibles diferencias culturales y de idioma.

## CONCLUSIONES

Más allá de satisfacer las necesidades expresadas por los valores marginales e ideales planteados para cada métrica, se considera que el presente diseño es superior a la mayoría de los diseños actuales por una variedad de razones entre las cuales destacan:

- Diseño modular
- Alta resolución del dispensador
- Alta velocidad de llenado

De manera complementaria al diseño mecánico de la máquina, existen una variedad de elementos a tomar en consideración antes de poder fabricar comercialmente el producto en cuestión. Algunos de los siguientes temas representan propuestas de ejercicios que es necesario realizar para caracterizar de manera integral el diseño y evaluar su posibilidad de llegar al mercado como un producto comercial.

- Control e interacción entre subsistemas
- Interfaz de usuario
- Simulación de ciclo de trabajo



Figura 0. Equipos A,B,C,D y E México y equipo D de UK (foto izquierda y derecha respectivamente)

# Introducción

Las industrias farmacéutica, química y bioquímica han tenido grandes avances en las últimas décadas.

El descubrimiento del ADN y la penicilina, junto con el estudio sistemático de proteínas, genes y compuestos químicos llevó a distintos investigadores de estas áreas a realizar cada vez una mayor cantidad de pruebas y estudios, desarrollando primitivas técnicas, procedimientos e instrumentos que poco a poco se fueron refinando hasta llegar a los procesos automatizados que hoy en día se realizan en laboratorios de todo el mundo.

Uno de los inventos más revolucionarios en este campo fue la creación de las “microplacas”; charolas con agujeros o “pozos” donde depositar pequeñas cantidades de sustancias, realizando experimentos de forma óptima, empleando la menor cantidad posible de reactivos y produciendo numerosos experimentos en una misma placa.

## EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS MICROPLACAS

La primera microplaca fue fabricada en 1951 por el Doctor húngaro Gyula Takatsy, quien perforó ocho filas de doce pozos sobre una placa de acrílico para reemplazar los tubos de ensayo que empleaba. Hacia 1953 el uso de las microplacas se había popularizado tanto que la *American Linbro Company* comenzó a producir en masa estas placas de 96 pozos. En 1991 *Helix Diagnostics* lanzó al Mercado una placa de 864 pozos, permitiendo realizar un gran volumen de pruebas simultáneamente. En 1992 *Genetix* produjo una microplaca de 384 pozos, en un esfuerzo por encontrar un balance entre la masa depositada en los pozos y el número de pozos en las placas. Finalmente, un último gran avance en la evolución de las microplacas se dio en 1998, cuando la SBS (*Society for Biomolecular Screening*) y los principales fabricantes de microplacas decidieron crear un estándar de dimensiones para las microplacas<sup>i</sup>. En 2004 estos estándares fueron reconocidos por la ANSI (*American National Standards Institute*) y se pueden encontrar bajo las claves ANSI/SBS 1-2004, ANSI/SBS 2-2004, ANSI/SBS 3-2004 y ANSI/SBS 4-2004<sup>ii</sup> (Apéndice 1). Actualmente se produce una amplia gama de microplacas, empleando para ello distintos materiales enfocados a una variedad de aplicaciones y pruebas. Sin embargo, el número de pozos empleado por Takatsy (96) o sus múltiplos (384, 1536) han permanecido como un estándar de diseño.

## EVOLUCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN PARA LAS MICROPLACAS<sup>iii</sup>

Aunado a la fabricación de las microplacas, el Dr. Takatsy desarrolló en 1951 la primera herramienta de “automatización” para las microplacas: un agitador (*loop*) que mezclaba y transfería volúmenes predefinidos de un pozo al siguiente, para realizar pruebas de disolución en serie. En 1964 el Dr. Sever se asoció con *Cooke Engineering* para fabricar un sistema aun más refinado. Con la ayuda de Frank Cooke, se introdujo al mercado una versión mejorada del diseño de Takatsy, fabricado en un torno. Estos agitadores fueron comercializados bajo el nombre de “*Microtiter® loops*”. Además se

comenzaron a emplear goteros con volúmenes predefinidos para depositar líquidos en los pozos. A pesar de que el uso de los agitadores y goteros aun constituían un proceso manual, se produjo una gran mejoría en la precisión de volumen depositado y en la cantidad de ensayos realizables en un tiempo determinado. En 1967 Tom Astle de *Astec* produjo la *Autotiter*, una de las primeras máquinas llenadoras de microplacas disponibles comercialmente, y que se popularizó cuando *Smith Kline & French* lo utilizó para realizar pruebas para su vacuna contra la rubeola. En 1976 se desarrollaron los primeros lectores de microplacas con un fotómetro para pruebas ELISA (Ensayo de inmun-absorbencia ligada a enzimas, o en inglés *Enzyme Linked Immunoabsorbent Assay*), un novedoso tipo de ensayo de laboratorio para el estudio de enzimas. Esta fue la primera versión de los lectores de microplacas actuales. A partir de entonces ha habido una explosión en el desarrollo de instrumentos que manejan, llenan, analizan y limpian las microplacas.

En la Figura 1 se puede observar la evolución de las microplacas (sobre la línea de tiempo) y el desarrollo de instrumentos complementarios (bajo la línea de tiempo).<sup>iv</sup>

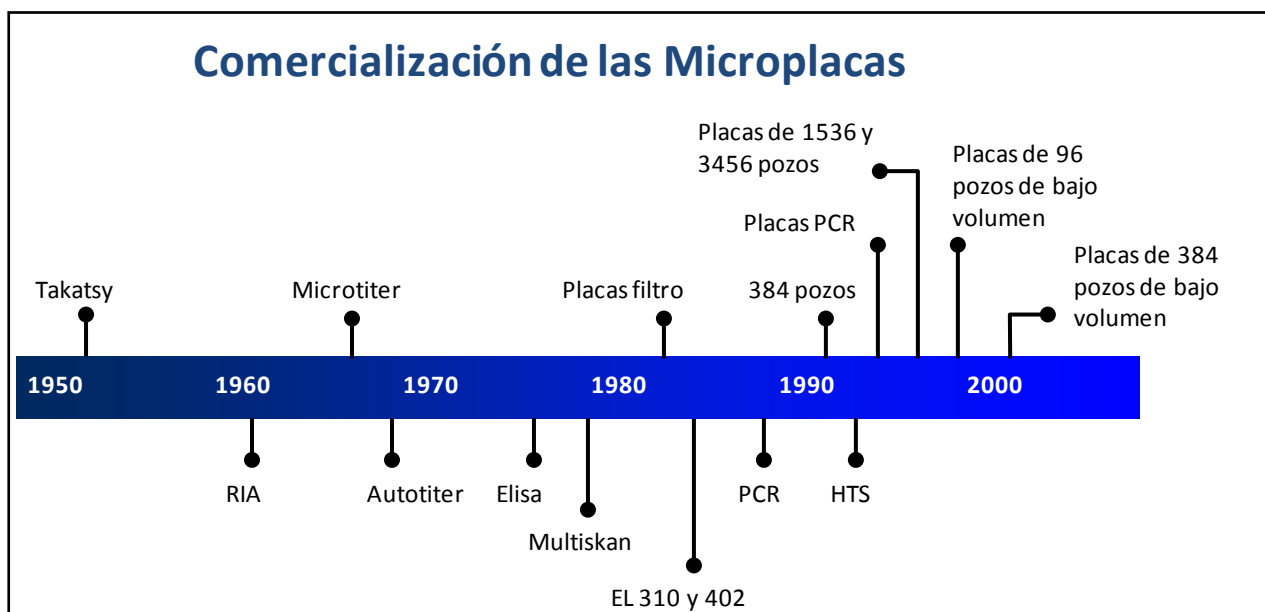


Figura 1. Comercialización de las microplacas e instrumentos complementarios

## EVOLUCIÓN DE LAS APLICACIONES DE LAS MICROPLACAS

En 1951 Takatsy utilizó las microplacas para aumentar el número de experimentos realizables y la confiabilidad en la identificación de pruebas del virus de la influenza en respuesta a la epidemia que azotó a su natal Hungría. En 1964 el Dr. John Sever vio la necesidad de mecanizar el sistema de agitadores usado para las disolución serial para poder satisfacer la demanda de vacuna para Rubeola creada por el programa que lanzó el Instituto Nacional de Salud estadounidense (NIH). En 1974 comenzó una de las aplicaciones más comunes para las microplacas cuando el centro para control de enfermedades de Londres (CDC) comenzó a usar las microplacas para ensayos ELISA. A partir de ese punto la popularidad de las microplacas ha ido en aumento, diversificando su uso e incursionando en otras disciplinas, como la realización de ensayos para la industria química.

## MERCADO DE LAS MICROPLACAS E INSTRUMENTOS COMPLEMENTARIOS

En un análisis de mercado sobre las microplacas<sup>iv</sup> publicado en 2009, se estima que el mercado de las microplacas en el mundo se acerca a los \$500 millones de dólares anuales. Por otra parte el mercado de lectores de microplacas se estima en \$300 millones de dólares anuales. Finalmente el mercado de manipulación de líquidos (que comprende desde las más básicas pipetas manuales hasta dispensadores completamente automatizados) se estima en alrededor de \$600 millones de dólares anuales. Dado que es en este último sector que hay un mayor potencial de ingresos, múltiples marcas se han especializado en el mercado de manipulación de líquidos.

A pesar de que nuevas tecnologías han surgido en esta área, muchas de ellas aun dependen de las microplacas, por lo que se les pronostica un futuro prolongado en sus diversas aplicaciones.

## MANIPULACIÓN DE LÍQUIDOS: UN NICHOS DE OPORTUNIDAD

El uso de las microplacas se encuentra en una etapa de crecimiento. Además de la difusión extensa y sostenida de pruebas tradicionales como los ensayos ELISA, el campo de aplicación de las microplacas continuamente se diversifica. Sin embargo, todas las microplacas deben pasar por el proceso de llenado de los pozos independientemente del material del que estén fabricadas, el diseño del experimento a realizar o el instrumento que se utilice para procesar los ensayos. Ya que este proceso es común a todas las aplicaciones de las microplacas, es lógico que muchas empresas intenten realizar desarrollos orientados específicamente a este proceso. En el caso de la presente tesis, la empresa *Alpha Innotech*, ubicada en *Silicon Valley, California* (EUA) propuso a la UNAM el desarrollo de una máquina llenadora de microplacas como tema de diseño para estudiantes de licenciatura. El proyecto involucró además un componente de colaboración internacional, ya que para este reto se invitó a participar tanto a estudiantes de ingeniería de la UNAM como a alumnos de ingeniería de la *University of Loughbrough*, Reino Unido, a colaborar de manera conjunta en el diseño mecánico de una máquina llenadora de microplacas.

## TRASCENDENCIA Y COMPLEJIDAD DE PROYECTOS DE COLABORACIÓN INTERNACIONAL E INTERINSTITUCIONAL

Gracias al uso de herramientas tecnológicas como el software de diseño asistido por computadora (CAD) y los avances en las comunicaciones, el diseño se ha vuelto una actividad que cada vez con mayor frecuencia involucra la interacción entre equipos a distancia, y frecuentemente el diseño de un producto se lleva a cabo en varios países. Es por ello que la Facultad de Ingeniería de la UNAM ha buscado complementar sus programas con proyectos que involucren la participación entre disciplinas (por ejemplo al proponer proyectos junto con estudiantes de diseño industrial de la Facultad de Arquitectura) y entre instituciones internacionales (*UC Berkeley* y *Stanford* entre otras). El apoyo y patrocinio de compañías para llevar a cabo estas colaboraciones constituye una tercera arista dentro de este esquema de interacción.

Un proyecto de diseño que involucra colaboración internacional como el que se expone en el presente trabajo conlleva retos extraordinarios como la coordinación de equipos en distintos usos horarios (UK

está seis horas delante de México), el manejo adecuado de situaciones extraordinarias derivadas de usos y costumbres de culturas ajenas a la propia y el esfuerzo adicional de comunicar ideas y planes de trabajo en otro idioma.

Es por ello que para minimizar el impacto negativo que estos factores puedan permear al proyecto los participantes deben ser flexibles ante los posibles incidentes que puedan darse, y plantearse un objetivo común que es el éxito del proyecto. La organización y la buena comunicación son factores clave para alcanzar dicho objetivo.

## DINÁMICA DE TRABAJO DEL PROYECTO DE COLABORACIÓN INTERNACIONAL UNAM- LOUGHBROUGH UNIVERSITY

Desde el punto de vista académico, es importante establecer criterios y métricas que permitan calificar el aprendizaje y el aprovechamiento de la experiencia más allá del éxito o fracaso del diseño propuesto. También es necesario proporcionar asesoría en las distintas facetas del proceso, tanto en aspectos de ingeniería como en relación a la interacción entre miembros del equipo. Con miras a homogeneizar el proceso de evaluación de los alumnos, se crearon grupos de trabajo de manera que cada equipo tuviera dos integrantes mexicanos y cuatro ingleses. Además todos los equipos serían invitados a resolver el mismo reto de diseño, para garantizar que se enfrentaran en condiciones similares a retos del mismo nivel de dificultad.



**Figura 2. Microplaca de 96 pozos**



# Metodología de Diseño Empleada

Existe una amplia bibliografía sobre metodologías de diseño. Distintos autores brindan un sinnúmero de enfoques al proceso de diseño, muchas veces respaldados por experiencias en un área específica de desarrollo, diferenciándose de metodologías propuestas por autores expertos en otras áreas no afines.

Para el presente trabajo, se empleó la metodología descrita en los capítulos 4, 5, 6 y 7 del libro "*Product Design and Development*" (Ulrich, et. al.)<sup>V</sup>. Este texto sirve de guía para el desarrollo de cualquier producto, pero presenta un enfoque específico hacia productos físicos, discretos y de ingeniería.

Para llevar a cabo un diseño exitoso, el libro divide el proceso de diseño en varias fases:

- Fase 0: Planeación
- Fase 1: Desarrollo conceptual
- Fase 2: Diseño a nivel de sistemas
- Fase 3: Diseño de detalle
- Fase 4: Evaluación y ajustes
- Fase 5: Producción

En cada fase se contempla realizar actividades específicas en materia de mercadotecnia, diseño, manufactura y otras dimensiones.

Para el alcance propuesto en el presente trabajo, se consideraron únicamente las actividades enfocadas al área de diseño, con un énfasis en las primeras cuatro fases del proceso, abarcando desde la planeación hasta el diseño detallado, proponiendo algunas formas de evaluación y ajustes que podrían llevar a un mejor diseño en una nueva iteración en caso de identificar mejoras significativas al diseño propuesto.

Para desarrollar las primeras cuatro fases, la metodología de diseño empleada está compuesta por cinco etapas principales:

- Planeación del producto
- Identificación de las necesidades del usuario
- Determinación de las especificaciones del producto
- Generación de conceptos
- Selección de conceptos

Al final de estas etapas se desarrolló el modelo computarizado de la solución de diseño propuesta y se realizaron análisis para verificar que el diseño cumpliera con los objetivos planteados inicialmente

# Desarrollo

## PLANEACIÓN DEL PRODUCTO (DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA DE DISEÑO)

Una compañía de California, Estados Unidos identificó la necesidad de desarrollar un sistema para depositar con precisión líquidos en los pozos de una microplaca. Se requiere introducir cantidades muy precisas de líquido (en el orden de micro-litros) dentro de cada pozo de la microplaca, minimizando al mismo tiempo la duración del ciclo de llenado.

### *IDENTIFICACIÓN DE UN NICHOS DE OPORTUNIDAD*

Para este proyecto de diseño, el nicho de oportunidad ya había sido identificado y propuesto por la compañía de California *Alpha Innotech*. Sin embargo, el nombre de la compañía y su giro no fueron proporcionados a los equipos sino hasta después de que el curso fue terminado. Por esta razón los equipos desconocían la aplicación para la cual la máquina sería empleada o cualquier otro parámetro que pudiera servir de base para el proyecto. Únicamente se asignó la tarea mencionada, con la consecuente libertad de decidir el camino a tomar en el desarrollo de la máquina. Acompañada de esta libertad venía la responsabilidad de familiarizarse con las distintas aplicaciones para este tipo de máquinas, sus mercados meta, capacidades, especificaciones, marcas, calidades, precios y otros parámetros para que a partir de esa investigación los equipos tomaran decisiones fundamentadas para la elaboración de los diseños.

### *PLANEACIÓN DE TIEMPOS, CREACIÓN DE EQUIPOS*

Para efectos del “*International Engineering Design Module*”, se crearon cinco equipos de seis integrantes cada uno; dos mexicanos y cuatro ingleses. Además de formar los equipos, se asignaron fechas de entregas de avances para garantizar que el proyecto se completara a tiempo.

Adicionalmente, nuestro equipo empleó la herramienta organizacional *Microsoft Project* para crear un plan de trabajo más detallado asignando horas hombre, tareas y avances. A pesar de ser una guía que sufrió modificaciones durante el proceso de diseño, fue una ayuda para ubicar al equipo en el tiempo, y contrastar nuestros avances con nuestras metas. El detalle se puede encontrar en el Apéndice 2.

### *CARACTERIZACIÓN DEL ÁMBITO DE USO*

Una vez que el ejercicio de diseño fue presentado y el equipo comenzó a trabajar, surgió la necesidad de conocer el “mundo” del producto a diseñar, por lo que se investigaron las aplicaciones más frecuentes para las que se requiere el llenado de microplacas. Un hallazgo interesante fue que el campo de aplicación de las microplacas, y consecuentemente el de las máquinas dispensadoras de fluidos para estos instrumentos no se ha estancado a lo largo del tiempo, y con el desarrollo de nuevas técnicas las microplacas han gozado de una expansión en los campos de aplicación en los que se emplean, por lo que se les proyecta un futuro prometedor<sup>iv</sup>. Cronológicamente, las aplicaciones más frecuentes para las microplacas han sido las siguientes:

- RIA (Ensayos de radioinmunología o *radio-immunoassay*)
- ELISA (Ensayo de inmuno-absorbencia ligada a enzimas o *enzyme-linked immunosorbent assay*)
- PCR (reacción en cadena de polimerasa o *polymerase chain reaction*)
- HTS (análisis de altas permutaciones o *high throughput screening*)

En esta última década, otros avances científicos y tecnológicos han requerido nuevos usos para las microplacas. Por ejemplo, el desarrollo de tecnologías de RNAi ha llevado a esfuerzos de análisis genómico en una escala similar a la de HTS. Adicionalmente, hay un número significativo de otros procesos y experimentos menos comunes que utilizan microplacas, por ejemplo:

- Purificación de compuestos
- Análisis de estabilidad metabólica
- Inhibición de P450 (complejo de enzimas)
- Análisis de solubilidad
- “*Cherry Picking*” (selección individual de respuesta ante concentraciones variables de reactivos)
- Estudios de comportamiento cronológico
- Síntesis por química combinatoria

Con este amplio rango de usos, las máquinas manipuladoras de líquidos han jugado un papel relevante en laboratorios médicos, académicos e industriales para el descubrimiento de fármacos, desarrollo de medicamentos, análisis y aseguramiento de calidad de medicamentos, análisis clínicos, forenses, de bioseguridad, alimentos y desarrollo de la agricultura, seguridad y ciencias de materiales.

## IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DEL USUARIO

Tras conocer las aplicaciones del producto a diseñar, se identificaron quiénes eran sus principales usuarios y dónde encontrarlos. El siguiente paso consistió en buscar a dichos usuarios para conocer cuáles eran sus necesidades. Para ello, se realizaron una serie de entrevistas tanto escritas como presenciales, se observó una de estas máquinas durante su uso, y se realizó investigación bibliográfica sobre los requerimientos de nuestra máquina.

### ENTREVISTAS

El primer recurso empleado para identificar las necesidades de los usuarios fueron una serie de entrevistas. Realizar entrevistas es muy ventajoso como método de recolectar datos, ya que elimina las restricciones y la rigidez asociados con cuestionarios o conjuntos de preguntas fijas. Las entrevistas le conceden al entrevistado una mayor libertad de pensamiento, respuesta y opinión. Al mismo tiempo, la interacción con el entrevistador logra un nivel de entendimiento y clarificación en el proceso de identificar las necesidades del usuario difícil de lograr por otros métodos. A pesar de ello, para conjuntos grandes de personas, los cuestionarios son más apropiados, abarcando una mayor cantidad de personas sin que esto represente una inversión significativa de tiempo y recursos. Sin embargo, para los fines del proyecto, el uso de cuestionarios sería difícil de justificar, ya que por ser un producto altamente especializado, el número de usuarios se reduce significativamente. Otro método propuesto en la bibliografía empleada es el uso de grupos de enfoque. Sin embargo, en este caso las

opiniones de los participantes pueden ser influenciadas por las de sus compañeros de grupo, limitando los alcances que se podrían lograr con entrevistas individuales.

Por ello, se concluyó que una serie de entrevistas de personas con distintos perfiles en contacto con las microplacas proveerían puntos de vista distintos y complementarios, creando un panorama donde las necesidades más comunes coincidirían entre todos los entrevistados, y estas coincidencias también reflejarían necesidades reales del mercado independientemente de la aplicación para la cual se empleen las microplacas.

Nuestros entrevistados fueron contactados por vía electrónica o telefónica, y trabajan o estudian en instituciones donde se emplean microplacas cotidianamente. En algunos casos, las entrevistas fueron por escrito (via *chat*) y otras fueron realizadas oralmente de manera presencial.

A continuación se anexa una breve reseña de las entrevistas realizadas:

**Dr. Darko Butina-** (Entrevista adjunta en el apéndice 3.1)

Perfil- 30 años de experiencia trabajando en la industria farmacéutica, incluyendo 20 años de trabajo de laboratorio.

Aprendizajes relevantes de la entrevista- La amplia experiencia del Dr. Butina proporcionó al equipo un conocimiento más profundo sobre las aplicaciones en las que se emplean microplacas en la industria farmacéutica actualmente. En la entrevista inicial con el Dr. Butina confirmamos que el proceso llamado HTS presentaba un excelente nicho de oportunidad para nuestra máquina, ya que esta aplicación requiere el llenado de numerosas microplacas con un conjunto limitado de reactantes, buscando minimizar el tiempo de llenado. Un segundo aprendizaje adquirido a partir de esta entrevista consistió en conocer una opinión realista sobre los alcances y características deseables para la máquina a diseñar en contraste con las expectativas de usuarios menos experimentados, que pueden ser poco realistas. Sin embargo, este segundo grupo generalmente tiene ideas más innovadoras.

**Iva Buzancic-** (Entrevista adjunta en el apéndice 3.2)

Perfil- Estudiante de farmacéutica en la Universidad de Zagreb (Croacia)

Aprendizajes relevantes de la entrevista- Al tener la oportunidad de entrevistar una estudiante que no radica en ninguno de los lugares donde el diseño se llevó a cabo, pudimos ahondar más en el aspecto internacional del diseño, y contrastar aplicaciones y usos en entornos diversos. En su entrevista, Iva sugirió generar un producto capaz de administrar una variedad de reactantes simultáneamente sobre las microplacas. Adicionalmente, el perfil académico de Iva permitió al equipo corroborar la presencia de un segundo nicho de oportunidad en institutos de investigación universitarios, que a pesar de que regularmente no requieren el volumen de producción suficiente como para justificar una inversión significativa en este tipo de máquinas, pueden estar interesados en adquirir una máquina a partir de cierto precio.

**Gianella García y Emma Duncan-** (Entrevistas adjuntas en los apéndices 3.3 y 3.4 respectivamente)

Perfil- Estudiante de Licenciatura en Genética en la Universidad Nacional Autónoma de México y Estudiante de posgrado en ciencias biomédicas en la universidad de Nottingham.

Aprendizajes relevantes de las entrevistas- Como usuaria de las microplacas en un ambiente académico, empleando pipetas en lugar de una máquina automatizada, sus dos entrevistas nos proporcionaron opiniones muy valiosas sobre cómo se podrían simplificar las tareas relacionadas al uso de microplacas en ambientes académicos. A pesar de que varias de las necesidades que mencionaron parecían excesivas, algunas de estas propuestas podrían añadirse al diseño, creando valor agregado en el producto final y una ventaja competitiva con respecto a las máquinas existentes. También menciona qué clase de reactantes se emplean comúnmente en ese entorno, además de los volúmenes manejados. Estos datos sirvieron posteriormente para algunos cálculos como el tiempo de llenado de las microplacas.

**Dr Jorge Ramírez-** (Entrevista adjuntada en el apéndice 3.5)

Perfil- Investigador en el Instituto de Fisiología Celular, Universidad Nacional Autónoma de México.

Aprendizajes relevantes de las entrevistas- Esta entrevista es un ejemplo relevante de un cliente potencial. Adicionalmente, el amplio conocimiento del Dr. Ramírez en relación a aspectos prácticos de las máquinas llenadoras de microplacas nos permitió indagar sobre distintas formas de acercarnos al mismo problema. Mencionó las razones por las que compraría o no un producto y además nos permitió ver a detalle la máquina llenadora empleada en su laboratorio.

#### *OBSERVACIÓN DEL PRODUCTO EN USO*

Gracias a un video corto<sup>v</sup> publicado en Internet sobre un ciclo de operación de la máquina del Laboratorio de Microarreglos del Instituto de Fisiología Celular de la UNAM para la preparación de bibliotecas genómicas el equipo pudo observar y entender con mayor claridad el ciclo de trabajo de este tipo de máquinas. El modelo del video es una máquina *Biomek FX* de la marca *Beckam Coulter*.

#### *INTERPRETACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN TÉRMINOS DE LAS NECESIDADES DE USUARIO*

Una vez reunida la mayor cantidad de información posible sobre las diferentes necesidades de los usuarios y de conocer las potenciales aplicaciones para las que la máquina se puede utilizar, el siguiente paso consistió en traducir la lluvia de ideas, observaciones y opiniones recopilada de las diferentes fuentes en un conjunto de necesidades concretas y específicas.

Para ello se creó una tabla que enlista enunciados clave de cada entrevista y los interpreta como necesidades definidas. La Tabla 1 presenta la tabla de necesidades obtenida:

Entrevista	Comentario extraído de la entrevista	Necesidad Identificada
D Butina	Química combinacional	Tiene secuencias preestablecidas para química combinacional
D Butina	Posicionamiento específico en un pozo	Se puede determinar el volumen de llenado por fluido y pozo
D Butina	Líquido mínimo a depositar	Tiene una resolución adecuada
D Butina	Manipulación adecuada de las placas	Puede manipular las placas
D Butina	Tapar placas	Puede cubrir las placas
D Butina	Manipula placas llenas y vacías	Puede apilar placas llenas y vacías

I Buzancic	Varios Reactivos	Puede manejar varios fluidos simultáneamente
I Buzancic	Diferentes concentraciones individuales de una variedad de reactivos	Se puede determinar el volumen de llenado por fluido y pozo
I Buzancic	Fácil de utilizar	Es fácil de utilizar
I Buzancic	Modularidad con otros robots	Puede interactuar con otros robots
I Buzancic	Resolución (nanolitros)	Tiene una resolución adecuada
I Buzancic	Dos mercados HTS y universitarios	Se puede usar para propósitos académicos e industriales
I Buzancic	Configuración individual para cada pozo (cada pozo puede llenarse con una combinación distinta de líquidos)	Se puede determinar el volumen de llenado por fluido y pozo
I Buzancic	Extraer sustancias de un pozo	Puede extraer fluidos de un pozo
I Buzancic	Manejar hasta 23 reactivos	Puede manejar varios fluidos simultáneamente
I Buzancic	Toma los reactivos de otras placas	Puede tomar fluidos de un pozo
I Buzancic	Puntas de pipeta intercambiables	Es fácil de lavar o no necesita limpieza
I Buzancic	Evita contaminación	Previene la contaminación de reactivos
G. García	Llena placas de distintos tamaños (96 a 3072 pozos)	Llena varios tipos comerciales de placas
G. García	Es costo-efectiva para propósitos educativos	Es adecuada para entornos académicos
		Es económicamente accesible a universidades
G. García	Programación fácil para evitar errores	Es fácil de utilizar
G. García	Es rápida	Es veloz
G. García	Buena resolución (<1.5 microlitros)	Tiene una resolución adecuada
G. García	Capaz de manejar más de un fluido a la vez	Puede manejar varios fluidos simultáneamente
J Ramírez	Trabaja con pozos de diferentes alturas (5 y 10 mm)	Compatible con diferentes alturas de placas
J Ramírez	Llena placas de distintos tamaños	Llena varios tipos comerciales de placas
J Ramírez	Gran precisión	Es precisa
J Ramírez	Dos rangos de volumen (1-20 ml y 1-200 microlitros)	Funciona para un amplio rango de volúmenes
J Ramírez	Buena resolución (<.5 microlitros)	Tiene una resolución adecuada
J Ramírez	Modularidad con otros dispositivos de automatización	Se puede automatizar como parte de una cadena de procesos
J Ramírez	Manipulación de la placa y del "Cabezal"	Puede manipular placas
J Ramírez	Costo-efectiva en comparación con pipetas	Es costo-efectiva
J Ramírez	Evita contaminación al llenar los pozos	Previene la contaminación de reactivos
J Ramírez	Puntas de llenado intercambiables y desechables	Es fácil de lavar o no necesita limpieza

**Tabla 1. Tabla de necesidades observadas en las entrevistas**

## ORGANIZACIÓN JERÁRQUICA E IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS NECESIDADES (GENERAL A ESPECÍFICO)

Una vez estructurados los enunciados de las necesidades identificadas, se eliminan las necesidades “redundantes” (mencionadas más de una vez, o que aparecen en más de una entrevista). Por ejemplo la necesidad de manejar varios fluidos simultáneamente aparece tres veces en la tabla anterior. Además de eliminar dichas necesidades, es necesario identificar las dependencias entre necesidades, y en caso de haberlas, determinar qué necesidad es más general, y organizarlas jerárquicamente de lo general a lo particular.

Una vez que las necesidades se han identificado y organizado jerárquicamente, es necesario establecer su importancia relativa, ya que muchas veces dos de las necesidades relevantes son opuestas, y muchas veces satisfacer por completo una de ellas imposibilita satisfacer la otra adecuadamente. Este es un caso típico para necesidades como precisión y velocidad en un proceso, donde generalmente se mejora una a costa de la otra. Es de suma importancia estar consciente de la presencia de estos pares contradictorios dentro del diseño, y de cuál es su importancia relativa; es decir, cuál de ellos es prioritario para el diseño o qué conjunto de posibilidades satisface de mejor forma las necesidades del usuario.

## CONCLUSIONES DE LA ETAPA

Las entrevistas realizadas introdujeron al equipo a los dos mercados más grandes en el uso de las microplacas; la industria farmacéutica y la investigación académica. La necesidad que más menciones tuvo fue la posibilidad de emplear más de un reactante a la vez. Para tener un punto de inicio en el número de reactantes sugerido, se sugirió una máquina de 8 canales y se le preguntó a los entrevistados su opinión al respecto mediante el uso de una escala *Likert* de 5 puntos. En sus respuestas, había una significativa concordancia en que el manejo simultáneo de 8 reactantes sería una característica benéfica en el llenado de las microplacas. El apéndice 3.6 muestra el resultado de la entrevista.

## ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Las necesidades de los usuarios obtenidas de las encuestas y entrevistas generalmente recaudan información expresada en el “lenguaje del cliente”. Estas necesidades frecuentemente son de carácter cualitativo y subjetivo (por ejemplo, la frase “que sea rápido” no proporciona una medida específica y puede variar de cliente a cliente). Sin embargo, estas expresiones son útiles para generar un panorama claro de los intereses y preocupaciones de los clientes. Por esta razón, es necesario “traducir” estas necesidades identificadas en un conjunto de especificaciones de carácter cuantitativo. Estas especificaciones deben expresar qué es lo que el producto debe hacer, independientemente de cómo lograrlo. Estas especificaciones son variables clave del diseño de un producto y generalmente están compuestas de una métrica (variable a medir) y un valor (y sus unidades). Por ejemplo “longitud” es una métrica mientras que “75cm” es un valor.

Para el desarrollo de productos tecnológicos, generalmente se proponen especificaciones meta, las cuales se generan antes de conocer las restricciones y factibilidad técnica; y una vez que se generan soluciones conceptuales se define el conjunto de especificaciones finales. El proceso para establecer las especificaciones finales está constituido por tres pasos:

1. Preparación de una lista de métricas
2. Recolección de información de productos similares (benchmarking)
3. Definición de valores ideales y marginales para cada métrica

### *PREPARACIÓN DE UNA LISTA DE MÉTRICAS*

Una lista de métricas ideal debe reflejar tan fielmente como sea posible el grado en que el producto final pueda satisfacer las necesidades del usuario. Para alcanzar este objetivo, una “traducción” efectiva del conjunto de necesidades a una lista de métricas representa un paso fundamental en el proceso de diseño. De esta forma, cumplir con los valores objetivo para las métricas planteadas conducirá a satisfacer las necesidades de usuario asociadas a estas métricas.

La lista de necesidades-métricas permite lograr esta “traducción” asignando una métrica a las necesidades que puedan corresponderle. Al construir una lista de necesidades-métricas se debe asegurar que las métricas sean mutuamente excluyentes (variables independientes) y colectivamente exhaustivas (contemplar todos los aspectos medibles necesarios). Estas métricas deben ser prácticas (en el sentido de que pueden ser directamente cuantificables de una manera relativamente fácil y poco costosa) y deben incluir criterios estandarizados o comunes de comparación contra productos del mercado y la competencia.

La Tabla 2 muestra la matriz de necesidades-métricas del proyecto, en la cual se relacionan las necesidades identificadas con las métricas propuestas



Necesidad		Métrica																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		Resolución del dispensador	Rango	Volumen de deposición	Número de canales de deposición	Viscosidad del reactivo	Microplacas compatibles	Presión al posicionarse	Tiempo de configuración	Precisión de la deposición	Frecuencia de Mantenimiento	Tamaño	Grados de libertad para movilidad de microplaca	Grados de libertad para movilidad del dispensador	Indicador de bajo volumen de reactivo	Deteccion de resolución del depósito	Rango de volumen del depósito de reactivo	Tiempo de limpieza	Costo
1	Llena varios tipos de micropalacas comercialmente disponibles (nº de pozos)						●												
2	Es económicamente accesible para una universidad																		●
3	Es fácil de manejar								●							●	●		
4	Es rápida			●									●	●			●	●	
5	Tiene una resolución adecuada	●														●			
6	Es compatible con varias profundidades de pozo						●												
7	Tiene un error mínimo									●					●	●		●	
8	Es precisa (volumen)	●	●											●		●			
9	Es precisa (posición)	●	●		●		●	●											
10	Funciona para un amplio rango de volúmenes		●													●			
11	Puede ser automatizada como parte de una cadena de procesos												●	●	●	●			
12	Puede manipulara las micropalacas												●						
13	Es costo-efectiva				●														●
14	Evita contaminación de reactivos																●	●	
15	Es fácil de lavar o no necesita lavarse																	●	
16	Es fácil de configurar								●							●			
17	Puede ser usada para fines académicos e industriales	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
18	Puede ser programada para llenar cada pozo de forma individual	●	●	●	●	●	●	●	●	●									
19	Puede manejar varios fluidos simultaneamente			●									●	●					
20	Tiene plantillas predefinidas para química combinacional							●											
21	Puede apilar las micropalacas llenas y vacías											●							
22	Ocupa un espacio reducido											●							
23	Requiere poco mantenimiento									●				●					

Tabla 2. Matriz de necesidades-métricas

Finalmente, se integraron los resultados de la matriz en una lista, jerarquizando la importancia de cada métrica y colocando las unidades respectivas (Tabla 3)

	Nº de Necesidad	Métrica	Importancia	Unidades
1	5,8,9,17,18	Resolución del dispensador	5	Nanolitros
2	8,9,10,17,18	Rango	3	Microlitros
3	4,17	Volumen de manejo de fluidos	5	Mililitros/segundo
4	9,14,17,18,19	Número de canales de manejo de fluidos	4	Canales
5	17,18	Viscosidad del reactivo	2	Pascales Segundo
6	1,9,17,18	Microplacas compatibles	4	Milímetros
7	6,9,17,18	Precisión al posicionarse	4	Micrómetros
8	3,16,17,18,20	Tiempo de configuración	3	Segundos
9	7,17,18	Precisión de la manejo de fluidos	4	Porcentaje
10	17,24	Frecuencia de Mantenimiento	2	Veces/año
11	22	Tamaño	3	Milímetros
12	4,11,12,17,21	Grados de libertad para movilidad de microplaca	3	Grados de Libertad
13	4,8,11,17,19	Grados de libertad para movilidad del dispensador	4	Grados de Libertad
14	7,11,17,19,23	Indicador de bajo volumen de reactivo	2	Mililitros
15	3,5,7,8,10,11,16,17	Detección de resolución del depósito	1	Mililitros
16	3,4,14	Volumen del depósito de reactivo	2	Mililitros
17	4,7,14,15,17	Tiempo de limpieza	2	Minutos
18	2,13,17	Costo	4	USD 2008

**Tabla 3. Métricas priorizadas y unidades respectivas**

### *RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE PRODUCTOS SIMILARES (BENCHMARKING)*

En vista de que el producto a diseñar competiría contra los ya existentes en el mercado, es necesario conocer estos productos, así como sus capacidades y limitaciones. La Tabla 4 presenta el *benchmark* realizado y las características específicas de varias máquinas que competirían por el mismo mercado que nuestro diseño. Para poder comparar el diseño propuesto con las máquinas ya existentes, se creó una lista de parámetros estandarizada. Posteriormente, se completó el perfil de cada máquina en

términos de los parámetros establecidos. Una vez llenada la tabla, se realizaron comparaciones en el desempeño de cada una. Este ejercicio también permitiría conocer los parámetros de desempeño de las máquinas que actualmente dominan el mercado.

Métrica	Unidad	Hamilton Starlet	Biomek FX	Millennium 500	Millennium 1000	UltraSpense 2000	Q Fill 2
Resolución	NI	500	500	2000	25000	5000	1000
Rango	µl	1000	1000	0-400	1000	2500	2000
Tiempo de llenado (96 pozos)	S	300	240	18	18	18	20
Número de reactantes	-	8	2	2	2	1	1
Alturas compatibles	-	Ajustable	Ajustable	No ajustable	No ajustable	Ajustable	No Ajustable
Microplacas compatibles	pozos	96-384	96-384	96 and 384	96 and 384	97 and 384	96 and 384
Costo	£	45,000	80,000	3,595	3,355	6,500	6,785
Precisión en posicionamiento	µm	100	200	-	-	0.50%	-
Tiempo de configuración	-	-	-	Config. predeterminadas	Config. predeterminadas	Config. predeterminadas	-
Precisión	%	2	5	3%	3%	1.5%	5%
Dimensiones (largo x ancho x altura)	mm	1124 x 903 x 795	1390 x 1625 x 813	320 x 520 x 280	350 x 650 x 350	440 x 550 x 220	200 x 300 x 300
Grados de libertad de la microplaca	-	2	0	1	1	0	0
Grados de libertad del dispensador	-	3	3	1	1	2	1
Indicador de poco reactante	l	NA	NA	audio and visual	yes	NA	NA

**Tabla 4. Benchmark de máquinas llenadoras de microplacas**

#### *DEFINICIÓN DE VALORES OBJETIVO IDEALES Y MARGINALES*

Una vez que se han identificado las necesidades de usuario y se han traducido en una lista de métricas cuantificables y tras realizar la investigación de mercado para comprender las capacidades y limitaciones de las máquinas que se encuentran comercialmente disponibles en la actualidad, es

necesario definir los valores objetivo ideales y marginales del diseño propuesto. Estos valores son independientes de la solución a la que se llegará y únicamente establecen una referencia o parámetro de diseño que sirve como indicador del éxito o fracaso del diseño y, en última instancia, el reflejo de la capacidad de nuestro diseño para satisfacer las necesidades de los usuarios objetivo. Por esta razón se genera un intervalo de valores objetivo, planteando un valor ideal y uno marginal, ya que con frecuencia algunas de estas métricas alcanzan valores óptimos al sacrificar el desempeño en otra métrica (un ejemplo clásico es el de velocidad contra precisión, donde es difícil lograr ambas cosas simultáneamente). La Tabla 5 muestra los valores objetivo ideales y marginales propuestos previo a la etapa de diseño.

Nº de Métrica	Nº de Necesidad	Métrica	Importancia	Unidades	Valor marginal	Valor Ideal
1	5,8,9,17,18	Resolución del dispensador	5	Nanolitros	1000	500
2	8,9,10,17,18	Rango	3	Microlitros	1000	2500
3	4,17	Volumen de manejo de fluidos	5	Mililitros/segundo	1.3	2.6
4	9,14,17,18,19	Número de canales de manejo de fluidos	4	Canales	2	10
5	17,18	Viscosidad del reactivo	2	Pascales Segundo	0.01	0.04
6	1,9,17,18	Microplacas compatibles	4	Milímetros	96-384	96-3072
7	6,9,17,18	Precisión al posicionarse	4	Micrómetros	200	100
8	3,16,17,18,20	Tiempo de configuración	3	Segundos	1 a 10	1 a 5
9	7,17,18	Precisión de la manejo de fluidos	4	Porcentaje	5%	1%
10	17,24	Frecuencia de Mantenimiento	2	Veces/año	3	1
11	22	Tamaño	3	Milímetros	600X1200X600	600X600X600
12	4,11,12,17,21	Grados de libertad para movilidad de microplaca	3	Grados de Libertad	1	2
13	4,8,11,17,19	Grados de libertad para movilidad del dispensador	4	Grados de Libertad	2	3
14	7,11,17,19,23	Indicador de bajo volumen de reactivo	2	Mililitros	100	100
15	3,5,7,8,10,11,16,17	Detección de resolución del depósito	1	Mililitros	5	1
16	3,4,14	Volumen del depósito de reactivo	2	Mililitros	500	1000
17	4,7,14,15,17	Tiempo de limpieza	2	Minutos	10	1
18	2,13,17	Costo	4	USD 2008	£30,000	£20,000

**Tabla 5. Valores marginales e ideales propuestos**

## *CONCLUSIONES DE LA ETAPA*

Definir las especificaciones del producto es el último paso preparativo rumbo a la generación de conceptos para el diseño. En esta etapa se compiló, analizó y resumió toda la información extraída de las etapas anteriores hasta condensarla en un listado de requerimientos con rangos de desempeño específicos y cuantificables que permitirán discernir con claridad los alcances de los distintos prototipos a idear, además de sus ventajas y desventajas relativas a la función para la que serán diseñados.

## *GENERACIÓN DE CONCEPTOS*

Esta es la etapa en la que el ingenio creativo de los diseñadores entra en juego. La generación de conceptos consiste en la creación y caracterización de soluciones para poder alcanzar soluciones “óptimas” que resuelvan el problema de diseño planteado. A diferencia de los problemas matemáticos, en el caso del diseño generalmente es difícil aseverar que se ha alcanzado una única solución óptima y es posible afirmar que cada concepto generado puede representar una solución subóptima del mismo problema.

## *CLARIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE DISEÑO*

Para tratar de alcanzar un subóptimo que realmente cumpla con los requisitos de diseño propuestos durante la etapa de definición de las especificaciones de producto generalmente se divide el sistema a diseñar en subsistemas más pequeños. Esto permite que la generación de conceptos sea más “digerible”. Sin embargo, no hay que perder de vista que dichos subsistemas deben de poderse integrar armónicamente para crear el concepto final, del mismo modo que todas las piezas de un rompecabezas encajan para formar una única imagen. Perder de vista la interacción de las interfaces puede ocasionar que las partes diseñadas de forma óptima no sean compatibles entre sí, o que al ensamblarse realicen un trabajo que no satisface adecuadamente las especificaciones de diseño.

## *DESCOMPOSICIÓN EN SUBSISTEMAS*

Para poder manejar el proyecto de manera más eficiente, se dividió el diseño en seis subsistemas principales mostrados en la Tabla 6.

#	Nombre del subsistema	Descripción
1	Método de manejo de fluidos	Manejo de fluidos, desde su almacenaje hasta la manejo de fluidos
2	Movimiento del dispensador	Tecnología requerida para mover el subsistema de manejo de fluidos para maximizar la eficiencia en el llenado
3	Movimiento de la microplaca	Transportación/movimiento de las microplacas a través de la máquina, maximizando la automatización
4	Almacenamiento de las microplacas	Almacenamiento de las microplacas, tanto llenas como vacías, para maximizar la automatización
5	Reconocimiento de las microplacas	Tecnología requerida para identificar las microplacas y sus dimensiones
6	Interfaz de usuario	Software y hardware requeridos para la interfaz de usuario, con un enfoque en el control que simplifique al máximo el uso de la máquina

**Tabla 6. Subsistemas del diseño conceptual**

Cada subsistema está orientado hacia una de las principales áreas funcionales de la máquina. Como se mencionó previamente, es importante entender las implicaciones de las interacciones entre subsistemas para el diseño final.

Para el presente trabajo se encontró una relación interesante entre los subsistemas 2 y 3 (movimiento del dispensador y movimiento de la microplaca respectivamente), ya que un movimiento más complejo del dispensador (más grados de libertad) simplificaría considerablemente los requerimientos del subsistema de movimiento de la microplaca (que requeriría menos grados de libertad) y viceversa. La Tabla 7 muestra una matriz donde se identifican las implicaciones de interacción existentes entre diseños para los diferentes subsistemas.

	<b>Método de manejo de fluidos</b>	<b>Interfaz de usuario</b>	<b>Movimiento del dispensador</b>	<b>Movimiento de la microplaca</b>	<b>Reconocimiento de la microplaca</b>	<b>Almacenamiento de las microplacas</b>
<b>Método de manejo de fluidos</b>	X			Si la microplaca tiene más grados de libertad, el método de manejo de fluidos no requerirá ser tan robusto, pues se moverá menos		La forma en que se mueve la microplaca impone restricciones en el subsistema de almacenamiento
<b>Interfaz de Usuario</b>		X			Si el usuario especifica el tipo de microplaca a utilizar, no hay necesidad de usar el reconocimiento de microplacas salvo para grandes volúmenes	
<b>Movimiento del Dispensador</b>			X	Si se añaden más grados de libertad al movimiento de la microplaca, se requieren menos para el movimiento del dispensador		
<b>Movimiento de la microplaca</b>	Si la microplaca tiene más grados de libertad, el método de manejo de fluidos no requerirá ser tan robusto, pues se moverá menos		Si se añaden más grados de libertad al movimiento de la microplaca, se requieren menos para el movimiento del dispensador	X		
<b>Reconocimiento de la microplaca</b>		Si el usuario especifica el tipo de microplaca a utilizar, no hay necesidad de usar el reconocimiento de microplacas salvo para grandes volúmenes			X	
<b>Almacenamiento de las microplacas</b>	La forma en que se mueve la microplaca impone restricciones en el subsistema de almacenamiento					X

**Tabla 7. Matriz de implicaciones de interacción entre subsistemas**



## INVESTIGACIÓN DE ALTERNATIVAS POR SUBSISTEMA

Una vez que se ha dividido el diseño en subsistemas, el siguiente paso consiste en encontrar la mejor manera en la que cada subsistema puede realizar la función para la que será diseñado. Generalmente hay más de una solución para un problema de diseño, por lo que es necesario tomar la mayor cantidad de opciones en cuenta y contrastarlas para encontrar la que mejor resuelva las necesidades identificadas. Por ejemplo, la microplaca podría ser desplazada de varias formas: con un par de tornillos sinfín, mediante una banda transportadora, con un brazo mecánico o con rieles. En esta etapa del diseño es importante tomar en cuenta la mayor cantidad de opciones, las cuales serán evaluadas posteriormente para seleccionar la opción que satisfaga adecuadamente el reto de diseño, y que interactúe de mejor forma con el resto de los subsistemas diseñados. Para ello, se recurrió a diversos métodos para acumular la mayor cantidad de ideas que permitieran resolver el reto planteado por cada subsistema. Entre los recursos principales que se utilizaron para esta etapa destacan los siguientes:

- Lluvia de ideas
- Analogías
- Entrevistas informales
- Búsqueda en patentes y publicaciones
- Observación de soluciones en desarrollos similares (*benchmarking*)

Cada ejercicio realizado con estas herramientas arrojó resultados potenciales para el diseño. Algunos de ellos fueron descartados casi desde el principio por cuestiones de costo o complejidad, hasta reducir las alternativas de cada subsistema a tres o cuatro opciones que fueran viables, y de entre las cuales era necesario hacer un análisis más minucioso para poder identificar la mejor opción.

## PROPUESTAS DE CONCEPTOS POR SUBSISTEMA

Una vez que se investigaron y propusieron diversas soluciones para cada subsistema, se depuró la lista de cada subsistema a las tres o cuatro soluciones con mayor potencial para un análisis más escrupuloso. Las Tablas 8 a 13 muestran las opciones elegidas como propuestas preliminares para el diseño de cada subsistema:

1 Método de manejo de fluidos	
Propuesta	Descripción
A) Pipeta	La pipeta es el método más primitivo para el manejo de fluidos, succionando líquidos de la misma manera que una pipeta manual o una jeringa, accionada por medio de una válvula solenoide que succiona y expulsa el fluido de trabajo.
B) Pipeta modificada (2 vías)	El concepto de pipeta modificada es parecido al de la pipeta, excepto que funcionaría mediante una válvula solenoide de dos vías con la ventaja de que no requeriría succionar el fluido por la misma vía por donde será expulsado.
C) Tecnología de inyección de tinta (cabezal piezoeléctrico)	El mecanismo de inyección de tinta funciona mediante cabezales piezoeléctricos que actúan de manera similar a las válvulas solenoides pero en una escala significativamente menor.

**Tabla 8. Propuestas preliminares para el subsistema de manejo de fluidos**

2 Movimiento del dispensador	
Propuesta	Descripción
A) Robot cartesiano	Los robots cartesianos presentan movimiento en sus eslabones mediante juntas prismáticas o deslizantes, que efectúan recorridos en un eje lineal.
B) Robot cilíndrico	Los robots cilíndricos presentan articulaciones giratorias similares a bisagras que permiten realizar movimientos angulares entre sus eslabones.
C) Robot SCARA (Selective Compliant Assembly Robot Arm, o Selective Compliant Articulated Robot Arm )	Un robot SCARA cuenta con articulaciones giratorias paralelas que le permiten desplazarse ágilmente a lo largo de un plano y limitan su movimiento en el tercer eje.

**Tabla 9. Propuestas preliminares para el subsistema de movimiento del dispensador**

3 Movimiento de la microplaca	
Propuesta	Descripción
A) Banda transportadora	La banda transportadora consiste en una banda de hule tensada entre dos rodillos móviles, uno de los cuales controla el movimiento de la banda.
B) Rieles	Los rieles actúan como guías de soporte que guían el desplazamiento de un carrito montado en ellos, de manera similar a un tren.
C) Tornillos sinfín	Un par de tornillos sinfín controlan el desplazamiento de una charola donde se coloca la microplaca
D) Actuador neumático	Un actuador neumático cuenta con un pistón que se desplaza mediante la inyección de aire comprimido al émbolo.
E) Robot cartesiano	Los robots cartesianos presentan movimiento en sus eslabones mediante juntas prismáticas o deslizantes, que efectúan recorridos en un eje lineal.

**Tabla 10. Propuestas preliminares para el subsistema de movimiento de la microplaca**

4 Almacenamiento de las microplacas	
Propuesta	Descripción
A) Arreglo cilíndrico	Las microplacas entran o salen de una plataforma cilíndrica que rota para posicionar las charolas de manera que se alineen con el sistema de movimiento
B) Arreglo helicoidal	El arreglo helicoidal almacena las microplacas en una estructura similar a una escalera de caracol en donde cada escalón contendría una microplaca
C) Arreglo vertical	El arreglo vertical consiste en una torre de microplacas colocadas una sobre otra
D) Sin almacenamiento	En caso de que la máquina fuera solamente una parte de una cadena de procesos, no sería necesario almacenar las microplacas

**Tabla 11. Propuestas preliminares para el subsistema de almacenamiento de las microplacas**

5 Reconocimiento de las microplacas	
Propuesta	Descripción
A) Cámara	Una cámara de video digital monitorea el movimiento de las microplacas.
B) Lector de código de barras	Un lector óptico registra la posición de las microplacas y en caso de requerirlo, información adicional de las mismas.
C) Reconocimiento manual	No se cuenta con un mecanismo automatizado para el seguimiento y reconocimiento de las microplacas, el operador las monitorea manualmente.

**Tabla 12. Propuestas preliminares para el subsistema de reconocimiento de las microplacas**

6 Interfaz de usuario	
Propuesta	Descripción
A) <i>Switches</i> y perillas	El usuario controla y programa los ciclos de trabajo de la máquina mediante <i>switches</i> y perillas que regulan los movimientos de la máquina.
B) Interfaz con PC	La máquina se conecta a una PC con software de control instalado y se programan los ciclos de trabajo desde ahí
C) Interfaz <i>touchscreen</i> integrada	La máquina viene integrada con una interfaz <i>touchscreen</i> dedicada en donde el usuario configura los ciclos de trabajo de la máquina.

**Tabla 13. Propuestas preliminares para el subsistema de interfaz de usuario**

## CONCLUSIONES DE LA ETAPA

Durante la etapa de generación de conceptos se dividió el problema de diseño en subsistemas más manejables. El principal aprendizaje de esta etapa en relación al proceso de diseño consistió en comprender que es necesario tomar en consideración las implicaciones que cada subsistema tiene sobre los demás y sus interacciones. Una vez dividido el diseño en subsistemas se idearon varias alternativas que podrían ejecutar la tarea planeada para cada subsistema y se tomaron en consideración las más atractivas para una posterior selección del diseño final. Para la etapa de propuestas, se emplearon una variedad de técnicas y herramientas, tales como la lluvia de ideas, entrevistas, investigación en publicaciones y patentes, analogías y observación de productos similares.

## SELECCIÓN DE CONCEPTOS

Durante la etapa de selección de conceptos se evalúan las fortalezas y debilidades de cada solución propuesta frente al resto de las soluciones. Para ello se toman en cuenta las métricas definidas durante la etapa de generación de especificación del producto. Al final de esta etapa, se habrá seleccionado la solución a desarrollar para el diseño final de la máquina llenadora de microplacas.

## CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DE SELECCIÓN

Para poder comparar objetivamente los diversos conceptos propuestos para cada subsistema, se desarrollaron matrices de selección. El primer paso para la conformación de estas matrices consiste en definir los criterios de selección. Estos criterios y su importancia relativa, fueron definidos de manera que el concepto seleccionado fuera el que satisficiera de mejor forma los requerimientos más importantes capturados en la lista principal de especificaciones de diseño del producto, provenientes de las etapas de entrevistas y benchmarking. Una puntuación de 1 a 5 fue dada dependiendo del nivel de satisfacción de las expectativas del concepto en relación a cada criterio, en donde 1 representa un nivel de satisfacción inferior o inadecuado, y 5 significaba que el criterio es satisfecho por completo. Adicionalmente, a cada criterio se le fue asignado un nivel de importancia, expresado en forma porcentual, de manera que los criterios más relevantes tuvieran más peso dentro de la decisión final. Al final de este proceso se llegó a una matriz de selección para cada subsistema similar a la de la Tabla 14.

Subsistema X		Conceptos a evaluar					
Métricas	Peso (%)	A	Alternativa 1	B	Alternativa 2	C	Alternativa 3
		Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada
Criterio 1							
Criterio 2							
Criterio 3							
Criterio 4							
Criterio 5							
Criterio ...							
Criterio ...							
Criterio ...							
Criterio ...							
Criterio n							
	Puntuación						
	¿Seleccionado?						

Tabla 14. Ejemplo esquemático de matriz de selección para un subsistema

## EVALUACIÓN DE CONCEPTOS

Para que el producto diseñado sea un líder en su nicho es necesario que por lo menos alcance el mismo nivel de desempeño que los productos con los que compite, y que tenga algún atractivo o valor agregado que lo distinga de su competencia. Por ello, se utilizaron los valores obtenidos de la tabla de benchmark como referencia relativa para comparar el diseño propuesto con los diseños disponibles comercialmente en términos de los indicadores clave que se necesitan para poder aspirar a este liderazgo. Esta comparación se realizó sin perder de vista los valores marginales e ideales propuestos, que proponen un intervalo de desempeño específico para cada métrica del diseño propuesto. Finalmente, se realizó una investigación de soluciones comercialmente disponibles para cada

concepto propuesto por subsistema, buscando especificaciones que sirvieran como indicadores del nivel de desempeño alcanzable en términos de las métricas planteadas. En caso de no encontrar soluciones comercialmente disponibles, se formularon criterios matemáticos para evaluar cuál de los conceptos propuestos satisfacía el conjunto de métricas de la mejor manera posible. En las Tablas 15 a 20 se muestran las matrices de selección en donde se evalúan los conceptos propuestos para cada subsistema y se menciona el concepto seleccionado.

1 Método de manejo de fluidos		Conceptos a evaluar					
Métricas	Peso (%)	A	Pipeta	B	Pipeta modificada	C	Inyección de tinta
		Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada
Costo	12.1	3.0	36.8	3.0	36.4	2.0	24.2
Resolución	12.1	4.0	48.5	4.0	48.5	5.0	60.6
Volumen manejado	15.2	3.0	45.5	3.0	45.5	5.0	75.8
Rango	9.1	4.0	36.4	5.0	45.5	5.0	45.5
Riesgo de contaminación	15.2	4.0	60.6	4.0	60.6	5.0	75.8
Tiempo de limpieza	9.1	4.0	36.4	3.0	27.3	2.5	22.7
Reuso	9.1	2.0	18.2	3.0	27.3	4.0	36.4
Tamaño	12.1	3.0	36.4	2.0	24.2	5.0	60.6
Desperdicio de reactivos	6.1	4.0	24.2	3.0	18.2	4.0	24.2
Puntuación		31	342	30	333	37	425
¿Seleccionado?			No		No		Sí

Tabla 15. Matriz de selección para el subsistema de manejo de fluidos

2. Movimiento del dispensador		Conceptos a evaluar					
Métricas	Peso (%)	A	Robot Cartesiano	B	Robot Cilíndrico	C	Robot SCARA
		Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada
Costo	11.4	4.0	45.7	4.0	45.7	1.0	11.4
Velocidad de movimiento	14.3	5.0	71.4	5.0	71.4	5.0	71.4
Estabilidad de movimiento	14.3	5.0	71.4	4.0	57.1	4.0	57.1
Seguridad	11.4	5.0	57.1	5.0	57.1	5.0	57.1
Facilidad de fabricación	8.6	4.0	34.3	3.0	34.3	1.0	8.6
Tamaño	8.6	4.0	34.3	3.0	34.3	3.0	34.3
Precisión	14.3	5.0	71.4	3.0	57.1	5.0	71.4
Eficiencia	8.6	4.0	34.3	3.0	34.3	3.0	34.3
Mantenimiento/calibración	8.6	4.0	34.3	3.0	34.3	3.0	34.3
Puntuación		40	454	38	425	30	354
¿Seleccionado?			Sí		No		No

Tabla 16. Matriz de selección para el subsistema de movimiento del dispensador

3 Movimiento de la microplaca		Conceptos a evaluar									
Métricas	Peso (%)	A	Banda Transportadora	B	Rieles	C	Tornillos sinfín	D	Actuador neumático	E	Robot cartesiano
		Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada
Costo	11.0	5.0	54.8	4.0	43.8	4.0	43.8	1.0	11.0	3.0	32.9
Velocidad de movimiento	13.7	5.0	68.5	5.0	68.5	3.0	41.1	4.0	54.8	3.0	41.1
Estabilidad de movimiento	13.7	5.0	68.5	2.0	27.4	6.0	68.5	3.0	41.1	5.0	68.5
Seguridad	13.7	5.0	68.5	4.0	54.8	4.0	54.8	3.0	41.1	5.0	68.5
Facilidad de fabricación	9.6	5.0	47.9	4.0	38.4	4.0	38.4	3.0	28.8	3.0	28.8
Tamaño	5.5	4.0	21.9	4.0	21.9	4.0	21.9	2.0	11.0	3.0	16.4
Precisión	13.7	5.0	68.5	3.0	41.1	5.0	68.5	2.0	27.4	5.0	68.5
Eficiencia	8.2	4.0	32.9	4.0	32.9	2.0	16.4	2.0	16.4	3.0	24.7
Mantenimiento/calibración	11.0	4.0	43.8	3.0	32.9	5.0	54.8	3.0	32.9	3.0	32.9
	Puntuación	42	475	33	361	36	408	23	264	33	382
	¿Seleccionado?		SÍ		No		No		No		No

Tabla 17. Matriz de selección para el subsistema de movimiento de la microplaca

4 Almacenamiento de las microplacas		Conceptos a evaluar							
Métricas	Peso (%)	A	Arreglo Cilíndrico	B	Arreglo Helicoidal	C	Arreglo Vertical	D	Sin almacenamiento
		Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada
Costo	6.5	3	19.4	2	25.8	3	19.4	5	32.5
Velocidad de movimiento	10.8	4	43.0	2	21.5	5	53.8	1	10.8
Estabilidad de movimiento	10.8	5	53.8	2	21.5	5	53.8	1	10.8
Seguridad	10.8	4	43.0	2	21.5	5	53.8	1	10.8
Facilidad de fabricación	7.5	4	30.1	3	22.6	3	22.6	5	37.6
Tamaño	10.8	1	10.8	2	21.5	4	43.0	4	43.0
Precisión	8.6	4	34.4	1	8.6	4	34.4	1	8.6
Eficiencia	4.3	3	12.9	3	12.9	4	17.2	5	21.5
Mantenimiento/calibración	6.5	3	19.4	2	12.9	4	25.8	5	32.3
Capacidad	10.8	3	32.3	2	21.5	5	53.8	1	10.8
Simplicidad	8.6	4	34.4	2	17.2	4	34.4	5	43.0
Selección de microplacas	4.3	4	17.2	3	12.9	3	12.9	5	21.5
	Puntuación	42	350	28	220	48	424	39	283
	¿Seleccionado?		No		No		Sí		No

Tabla 18. Matriz de selección para el subsistema de almacenamiento de las microplacas

5 Reconocimiento de las microplacas		Conceptos a evaluar					
Métricas	Peso (%)	A	Cámara	B	Lector de código de barras	C	Reconocimiento manual
		Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada
Costo	12.9	4.0	51.6	4.0	51.6	5	64.5
Velocidad de sensado	16.1	3.0	48.4	5.0	80.6	2	32.3
Precisión	16.1	4.0	64.5	4.0	64.5	3	48.4
Seguridad	16.1	5.0	80.6	5.0	80.6	1	16.1
Tamaño	9.7	3.0	29.0	2.0	19.4	1	9.7
Mantenimiento / calibración	12.9	3.0	38.7	3.0	38.7	1	12.9
Practicidad	16.1	5.0	80.6	2.0	32.3	1	16.1
	Puntuación	27	393	25	367	14	200
	¿Seleccionado ?		Sí		No		No

Tabla 19. Matriz de selección para el subsistema de reconocimiento de las microplacas

6 Interfaz de usuario		Conceptos a evaluar					
Métricas	Peso (%)	A	Switches y perillas	B	Interfaz con PC	C	Interfaz touch-screen integrada
		Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada	Puntuación (1 - 5)	Puntuación ponderada
Costo	13.3	2.0	26.7	4.0	53.3	2.0	26.7
Facilidad de uso	16.7	1.0	16.7	4.0	66.7	5.0	83.3
Estética	10.0	1.0	10.0	3.0	30.0	4.0	40.0
Portabilidad	6.7	1.0	6.7	5.0	33.3	4.0	26.7
Necesidad de otras herramientas	13.3	4.0	53.3	2.0	26.7	5.0	66.7
Eficiencia	6.7	5.0	33.3	3.0	20.0	4.0	26.7
Modificación de datos	13.3	1.0	13.3	5.0	66.7	5.0	66.7
Compatibilidad de software	10.0	1.0	10.0	3.0	30.0	2.0	20.0
Tamaño	10.0	1.0	10.0	2.0	20.0	5.0	50.0
	Puntuación	17	180	31	346	36	406
	¿Seleccionado?		No		No		Sí

Tabla 20. Matriz de selección para el subsistema de interfaz de usuario



## SELECCIÓN DEL CONCEPTO A DESARROLLAR

Se eligió el concepto con mayor puntuación acumulada por subsistema para desarrollar un modelo en computadora de la máquina. A pesar de que modificaciones a los conceptos seleccionados son posibles, un análisis robusto del desempeño de cada concepto propuesto, minimiza las iteraciones necesarias para llegar a un producto final que satisfaga las necesidades de usuario identificadas. La Tabla 21 muestra los conceptos seleccionados para desarrollar en la siguiente etapa.

#	Nombre del subsistema	Concepto seleccionado
1	Método de manejo de fluidos	Tecnología de inyección de tinta
2	Movimiento del dispensador	Robot cartesiano de un grado de libertad
3	Movimiento de la microplaca	Banda transportadora
4	Almacenamiento de las microplacas	Arreglo vertical (stack)
5	Reconocimiento de las microplacas	Cámara
6	Interfaz de usuario	Interfaz touchscreen integrada

Tabla 21. Conceptos seleccionados a desarrollar por subsistema

## CONCLUSIONES DE LA ETAPA

La etapa de evaluación y selección de conceptos termina uno de los ciclos principales en la etapa de diseño del producto, y propone, aunque sea de manera teórica la solución al problema de diseño postulado al principio del ejercicio. La siguiente etapa del proceso consistirá en materializar esta solución, primeramente mediante el diseño asistido por computadora y en segundo lugar en la etapa de fabricación de prototipos físicos. Es posible que aun se presenten cambios a lo largo del proceso que distorsionen el diseño propuesto en esta etapa, pero si el trabajo fue realizado adecuadamente, estos cambios deben ser menores y no modificarán significativamente el diseño propuesto

## DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA

Los desarrollos tecnológicos y el uso del software de diseño y manufactura asistidos por computadora (CAD y CAM respectivamente) han permitido dar grandes avances hacia procesos de diseño más rápidos, baratos e inteligentes. El uso de estas herramientas ha incursionado en distintas facetas del diseño con un éxito tan grande que actualmente se puede no sólo diseñar, sino simular el comportamiento de la máquina incluso antes de construir un modelo físico. Módulos de análisis de esfuerzos y deformaciones se han incorporado a estas paqueterías permitiendo seleccionar materiales que se adecuen mejor a las necesidades de diseño, e incluso permiten hacer *renders* de cómo lucirá el producto final. La colaboración entre varios diseñadores en módulos independientes y la integración de subsistemas se puede realizar con una sencillez sin precedentes. Adicionalmente, la generación de planos también se facilita. Finalmente, se pueden realizar cientos de modificaciones sin impactar significativamente en los costos de producción de un diseño. En el contexto del presente proyecto de

diseño, el modelado en computadora de la máquina llenadora de microplacas sería el paso final del proceso de desarrollo.

### SOFTWARE UTILIZADO

Para efectos del presente trabajo el software de diseño empleado fue *UNIGRAPHICS NX6 y NX4*. Algunas de las piezas fueron construidas en *Solid Edge*. En cada caso, por cuestiones de compatibilidad, se manejó el formato \*.igs para almacenar los archivos de cada parte. Este formato es un estándar interpretable por múltiples programas CAD/CAM, por lo que permite intercambiar información sin restricciones relacionadas con las versiones del software a utilizar ni el fabricante de las mismas.

### BÚSQUEDA DE PARTES EXISTENTES EN EL MERCADO

Frecuentemente ocurre que un diseñador necesita fabricar una pieza para su diseño que ya existe comercialmente en el mercado. No tendría sentido que cada fabricante de automóviles diseñara sus propios tornillos y tuercas, ni que los ingenieros electrónicos fabricaran sus circuitos a partir de transistores. Aprovechar al máximo las partes que ya están diseñadas y fabricadas comercialmente permite reducir los costos de producción, manejar especificaciones más precisas y estandarizadas que un diseño en una etapa piloto de fabricación y permite reducir el universo de partes a diseñar a un mínimo necesario. En términos más coloquiales “no hay que inventar el hilo negro”.

Acorde a esta premisa, y tomando en consideración los parámetros que cada subsistema debería cumplir, se realizó una búsqueda de partes existentes en el mercado para el diseño propuesto. Los resultados fueron fructíferos cuando se encontraron opciones que satisfacían los valores propuestos de las métricas definidas para 5 de los 6 subsistemas propuestos. La Tabla 22 muestra las opciones identificadas.

#	Nombre del subsistema	Solución viable existente en el mercado
1	Método de manejo de fluidos	Cabeza de inyección XAAR 1001 con bomba incluida
2	Movimiento del dispensador	Robot cartesiano Yamaha Serie Flip-x
3	Movimiento de la microplaca	Banda transportadora Eshed Robotec
4	Almacenamiento de las microplacas	Opciones comerciales demasiado caras
5	Reconocimiento de las microplacas	Cámara COGNEX In-sight Micro Vision System Color
6	Interfaz de usuario	Interfaz touchscreen 15” Vartech industrial panel PC modelo VTTPC150P

**Tabla 22. Opciones identificadas para cada subsistema**

Las especificaciones de cada subsistema pueden encontrarse en los Apéndices 4.1 a 4.6.

## *DESARROLLO DE MODELOS COMPUTARIZADOS POR SUBSISTEMA*

Empleando las especificaciones de las partes encontradas en el mercado para algunos subsistemas y realizando los desarrollos de las partes restantes, se construyó el modelo computarizado de las partes que constituyen cada subsistema. El principal reto de esta etapa consistió en estandarizar la forma en que se construirían y compartirían las diferentes partes, dado que algunas de ellas serían construidas por la parte inglesa del equipo y otras por la parte mexicana. Para coordinar mejor esta actividad, se descargaron todos los diseños a una carpeta común en Internet, que permitía el libre acceso a los integrantes del equipo.

## *INTEGRACIÓN DE SUBSISTEMAS*

El último paso en el proceso de construcción del modelo computarizado del diseño consistió en ensamblar todos los subsistemas. Debido al especial cuidado que se tuvo previamente para asegurar que todas las partes encajaran adecuadamente y que no existieran redundancias o espacios ocupados por dos partes, se logró realizar el ensamble de subsistemas satisfactoriamente, asegurando que el funcionamiento de la máquina fuera acorde al propuesto conceptualmente. Una vez que el diseño fue terminado y aprobado por el equipo, se procedió a la fabricación de planos de cada subsistema y un plano explosivo del ensamble final.

## *CAD FINAL*

La Figura 3 muestra el diseño computarizado de la máquina llenadora de microplacas. Este modelo en 3D puede activarse dando click sobre la imagen. Sobre la pestaña que dice “0 – Principal” es posible elegir distintas vistas preprogramadas que se utilizan como guía en la explicación del Ciclo de Trabajo del Diseño Final (siguiente sección).

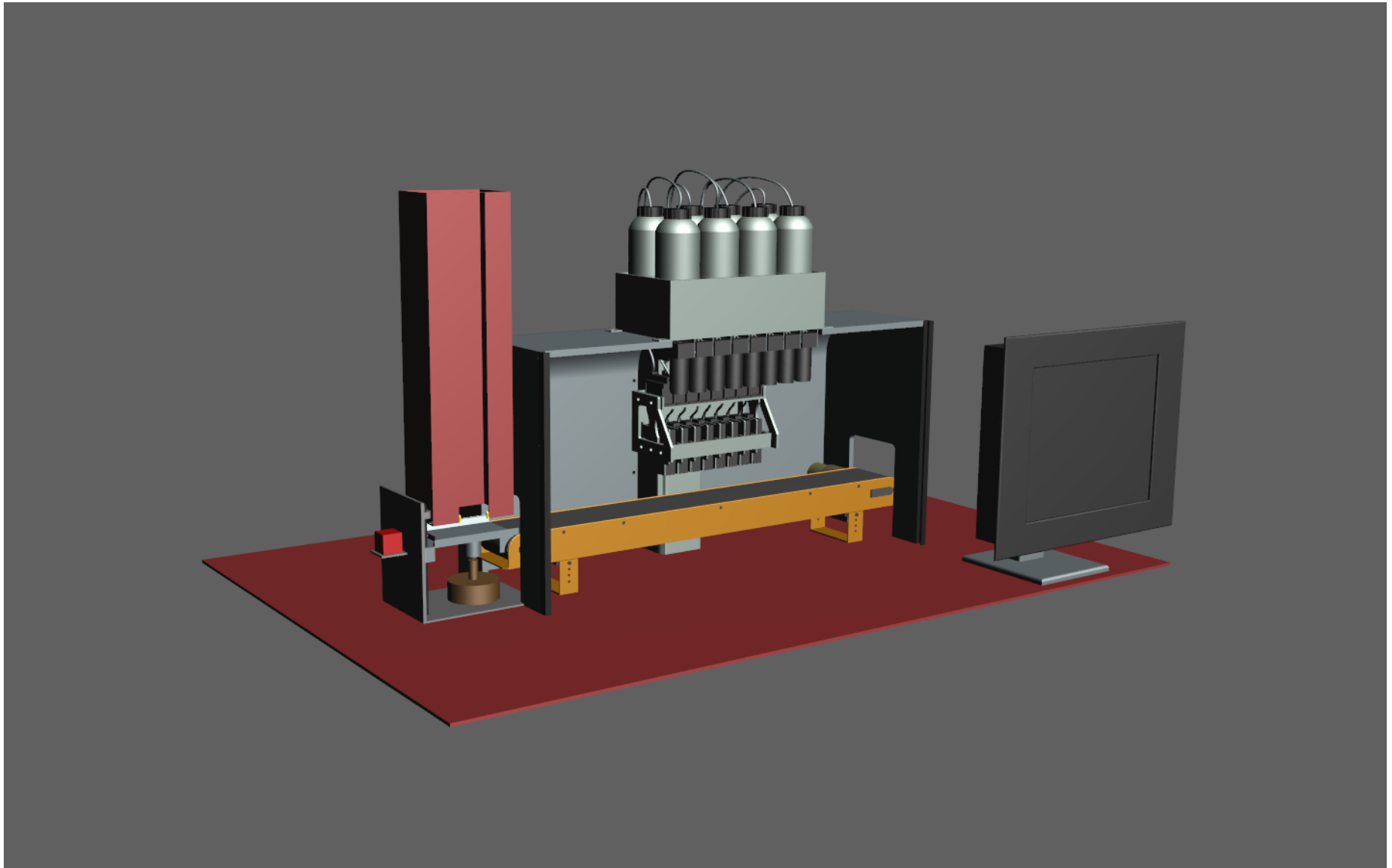


Figura 3. Diseño computarizado de la máquina

## CONCLUSIONES DE LA ETAPA

Gracias al trabajo realizado en etapas previas del proceso de diseño y a la búsqueda de partes existentes que se incorporaron a la versión final de la máquina, la etapa de diseño en computadora fue una de las más sencillas del proceso. Adicionalmente, en algunos casos esta etapa podría simplificarse aun más, dado que muchas compañías ya proporcionan modelos virtuales de sus piezas. El cuidado y esfuerzo invertidos en la planeación de la integración de las partes también permitió eliminar retrabajos, dado que todos los subsistemas se pudieron ensamblar entre ellos correctamente. Sin la planeación adecuada, esta etapa habría sido sumamente compleja, y hubiera requerido un proceso iterativo que probablemente no habría dado resultados tan exitosos.

*También fue importante el cuidado con el que se realizaron los planos, asegurando que las tolerancias estuvieran indicadas de acuerdo a la norma, que todas las dimensiones aparecieran indicadas en los planos sin contener redundancias y que las unidades estuvieran expresadas con claridad y en unidades del sistema métrico.*

## EVALUACIÓN, ANÁLISIS Y ALCANCES DEL CONCEPTO FINAL

De manera paralela al desarrollo del modelo virtual de nuestro diseño final, se realizaron análisis que permitieran demostrar los alcances y limitaciones de nuestro diseño, tomando en cuenta como métricas de análisis las mismas métricas definidas al inicio del proceso de diseño, y contrastando los valores calculados analíticamente contra los marginales e ideales propuestos a raíz de los resultados de las entrevistas y el benchmarking realizado. Si los valores se encontraban dentro del rango estipulado, el diseño sería considerado exitoso.

## CICLO DE TRABAJO DEL DISEÑO FINAL

Para efectos del funcionamiento de la máquina, el procedimiento de trabajo es iniciado en la interfaz de usuario (vista 1, Figura 3), indicando la forma en la que se llenan los pozos y la cantidad de microplacas a llenar. Posteriormente, se colocan los reactantes en los contenedores correspondientes y se colocan las microplacas en el alimentador. Una vez terminados estos pasos preparativos comienza el ciclo de trabajo. Las microplacas se colocan directamente sobre la banda transportadora por el mecanismo de alimentación incorporado al sistema de almacenamiento ( vista 2, Figura 3). La banda transportadora se mueve a velocidad constante durante el proceso de llenado (vista 3, Figura 3). La posición de las microplacas es monitoreada por el sistema de reconocimiento (cámara) de manera que únicamente se activen los inyectores presentes en el cabezal (vista 4, Figura 4) durante el tiempo en que el pozo esté directamente debajo de ellos. En caso de requerirlo, la cámara también podría funcionar como un lector de código de barras, siempre y cuando éstos estén dentro del campo de visibilidad de la misma. Con esta información, el sistema de control determina qué inyectores se deben activar para colocar los volúmenes deseados de reactantes en los pozos correspondientes. Para lograr este propósito, las bombas peristálticas toman los reactantes de los contenedores principales y los trasladan hasta unos contenedores secundarios integrados a los cabezales de inyección (vista 5, Figura 3). Estos reactantes son posteriormente expulsados a través de los inyectores mediante actuadores piezoeléctricos durante la operación de llenado. El volumen de reactante en los cabezales es monitoreado por el sistema de control, de modo tal que cuando el nivel

de reactante en un cabezal cae lo suficiente, la bomba peristáltica se enciende nuevamente. Como la máquina está siguiendo un procedimiento preprogramado, el sistema de control puede calcular cuánto reactante se requiere para todo el proceso. Esto permite que la bomba se active solamente para utilizar la cantidad de reactante necesario. Por ejemplo, el tanque integrado a los cabezales tiene una capacidad de 0.02 litros. Si el proceso entero de llenado requiriera 0.05 litros de ese reactante, la bomba puede ser activada para llenar el tanque por completo dos veces y media. Una vez que las microplacas han sido llenadas llegan al segundo arreglo de almacenamiento (*stack*). Si se requiriera, este segundo *stack* puede removerse, de manera que las placas se puedan transportar hacia otro lado y se continúe trabajando con ellas, por ejemplo sellándolas, irradiándolas o colocándolas en una incubadora. La Figura 4 muestra un diagrama de flujo donde se ilustra el procedimiento.

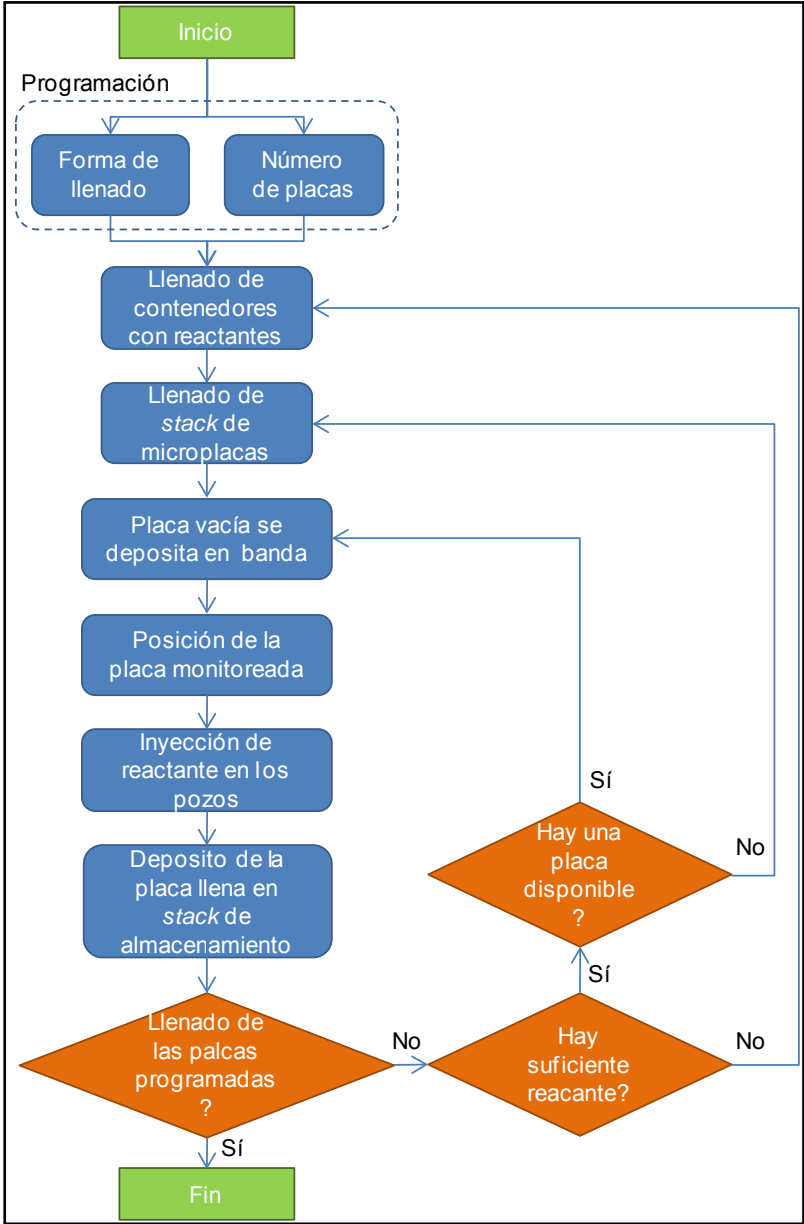


Figura 4. Diagrama de flujo del ciclo de trabajo del diseño propuesto

## *ANÁLISIS DE TIEMPOS*

Uno de los parámetros más relevantes identificados en la etapa de investigación de las necesidades del usuario es el tiempo de llenado de la microplaca. Por esta razón, se realizó un análisis detallado del tiempo de llenado esperado por microplaca, en particular para volúmenes grandes de microplacas. De acuerdo con el volumen de inyección de cada inyector en el cabezal (8000 gotas/segundo de 80 picolitros/gota), el número de inyectores activos por pozo (hasta 100 simultáneamente), y la velocidad a la que se mueve la banda transportadora (1.15 cm/segundo), las microplacas pueden llenarse a un volumen estándar de ~30 microlitros/pozo (para una microplaca de 96 pozos) en ~ 17.4 segundos para un número de microplacas relevante. La memoria de cálculo de este análisis aparece detallada en el Apéndice 5.1.

## *ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN POR PESO, DEFLEXIÓN*

Un último análisis relevante para el diseño propuesto consistió en caracterizar la deflexión de la pieza que sujeta el cabezal al robot cartesiano, ocasionada debido al peso de las bombas y las cabezas inyectoras de tinta que están suspendidas sobre la microplaca. Una inclinación de unas pocas décimas de grado en el cabezal podría ocasionar que el fluido expulsado por los inyectores cayera fuera de los pozos, afectando la precisión de llenado y posiblemente contaminando pozos cercanos. Realizando un análisis mediante elemento finito considerando la geometría de la pieza y el peso que soporta (considerando adicionalmente un factor de seguridad de 20% añadido a la masa total), y considerando que la pieza estaría fabricada de acero convencional, la deflexión total en el extremo más distante del cabezal es de 4.65 $\mu$ m. Si el cabezal está suspendido sobre la microplaca a una distancia de 5 milímetros, la deflexión impactaría la trayectoria vertical de la gota en 69 $\mu$ m (detalle del cálculo en Apéndice 5.2). Afortunadamente, esta desviación no es suficiente para afectar la precisión de llenado de la máquina. De lo contrario, sería necesario reevaluar el material del cabezal o el diseño en general.

## *CONTRASTE CON EL CONJUNTO INICIAL DE VALORES IDEALES Y MARGINALES PROPUESTOS PARA CADA MÉTRICA*

Finalmente, se completó una tabla con los valores calculados del desempeño del diseño propuesto frente a los valores ideales y marginales para cada métrica identificada durante la etapa de desarrollo de especificaciones. Este análisis sería el dictamen final del cumplimiento de las necesidades de usuario por el diseño propuesto. Afortunadamente, la máquina diseñada satisface adecuadamente las necesidades de usuario y en algunos casos (como el de resolución del dispensador) incluso supera dichas expectativas por órdenes de magnitud. Esto abre posibilidades a nuevas aplicaciones y experimentos imposibles de realizar con las máquinas disponibles actualmente. La Tabla 23 muestra los valores esperados del diseño propuesto para cada métrica frente a los valores ideal y marginal planteados en etapas previas del proceso.

Nº de Métrica	Nº de Necesidad	Métrica	Importancia	Unidades	Valor marginal	Valor Ideal	Valor esperado
1	5,8,9,17,18	Resolución del dispensador	5	Nanolitros	1000	500	0.08
2	8,9,10,17,18	Rango	3	Microlitros	1000	2500	2500
3	4,17	Volumen de manejo de fluidos	5	Mililitros/segundo	1.3	2.6	1.65
4	9,14,17,18,19	Número de canales de manejo de fluidos	4	Canales	2	10	10
5	17,18	Viscosidad del reactivo	2	Pascales Segundo	0.01	0.04	N/D
6	1,9,17,18	Microplacas compatibles	4	Milímetros	96-384	96-3072	96-3072
7	6,9,17,18	Precisión al posicionarse	4	Micrómetros	200	100	ajustable
8	3,16,17,18,20	Tiempo de configuración	3	Segundos	1 a 10	1 a 5	N/D
9	7,17,18	Precisión de la manejo de fluidos	4	Porcentaje	5%	1%	1%
10	17,24	Frecuencia de Mantenimiento	2	Veces/año	3	1	1
11	22	Tamaño	3	Milímetros	600X1200X600	600X600X600	600X600X600
12	4,11,12,17,21	Grados de libertad para movilidad de microplaca	3	Grados de Libertad	1	2	1
13	4,8,11,17,19	Grados de libertad para movilidad del dispensador	4	Grados de Libertad	2	3	2
14	7,11,17,19,23	Indicador de bajo volumen de reactivo	2	Mililitros	100	100	100
15	3,5,7,8,10,11,16,17	Detección de resolución del depósito	1	Mililitros	5	1	1
16	3,4,14	Volumen del depósito de reactivo	2	Mililitros	500	1000	1000
17	4,7,14,15,17	Tiempo de limpieza	2	Minutos	10	1	N/D
18	2,13,17	Costo	4	Libras 2008	£30,000	£20,000	£20,000 – £25,000

Tabla 23. Contraste con el conjunto inicial de métricas



## *CONCLUSIONES DE LA ETAPA*

El diseño generado a través de la metodología propuesta presenta un comportamiento teórico cercano al valor ideal para la mayoría de las métricas descritas. Si una de las métricas fundamentales (velocidad de llenado, precisión) no alcanzara a cumplir los valores propuestos mínimos definidos durante la etapa de desarrollo de especificaciones, sería necesario iterar el diseño en busca de nuevas propuestas y mejoras que lograran alcanzar los objetivos específicos.

A pesar de que teóricamente el diseño es exitoso aun faltaría incorporar varios elementos para lograr que la máquina sea funcional, mismos que rebasan el objetivo de este trabajo. Sin embargo en el siguiente capítulo se mencionan algunas propuestas de trabajos posteriores.

# Conclusiones

El ejercicio de diseño desarrollado en el presente trabajo estuvo acompañado de un aprendizaje en múltiples dimensiones: metodología de diseño, colaboración internacional, documentación de un proyecto, investigación sobre la industria de microplacas y sus máquinas llenadoras, entre otros. Adicionalmente, el producto final de este ejercicio puede ser sujeto a un conjunto de observaciones y siguientes pasos en caso de querer materializar la máquina en un diseño disponible comercialmente. Las siguientes conclusiones resumen aprendizajes y observaciones relativas al ejercicio de diseño y al producto final desarrollado.

## CONCLUSIONES DEL EJERCICIO DE DISEÑO

### *CONCLUSIONES SOBRE LA METODOLOGÍA EMPLEADA*

La metodología propuesta por Ulrich, et. al. propone un método robusto para el desarrollo de diseños de productos físicos y de ingeniería. A pesar de ello, cada producto a diseñar es único y es posible que se requieran ligeras modificaciones o adaptaciones al modelo de trabajo propuesto para poder satisfacer nuevas necesidades de diseño. En nuestro caso, la matriz de implicaciones e interacciones entre subsistemas (Tabla 7) fue una herramienta no planteada en la metodología que nos permitió identificar interacciones entre diversos subsistemas maximizando la eficiencia en el funcionamiento de la máquina de manera holística, en lugar de integrar partes separadas que pueden ser óptimas en sí pero no para el diseño final.

### *DISEÑO INTERNACIONAL*

En relación a la experiencia de trabajo en colaboración con la Universidad de Loughbrough el acompañamiento proporcionado a los alumnos por parte de los maestros fue clave para guiar esta experiencia educativa. Los principales retos fueron la coordinación de horarios y el balance en la división de tareas. Trabajar en un idioma ajeno y comprender las diferencias culturales al trabajar también fueron desafíos interesantes, pero la buena actitud y paciencia entre partes del equipo minimizó cualquier fricción o malentendido que se pudiera haber dado. Con miras a continuar promoviendo experiencias de colaboración internacional en la Facultad, se propone un balance más equitativo de estudiantes extranjeros y mexicanos en los equipos, y una definición un poco más estructurada del alcance y entregables esperados por parte de los equipos, así como una sesión de retroalimentación a cada equipo y en conjunto al grupo en relación a los aprendizajes generales y observaciones individuales de los diseños propuestos.

### *OTRAS OBSERVACIONES FINALES*

Finalmente, la estandarización de *software* de trabajo a utilizar para el desarrollo de partes del modelo simplificaría la interacción entre las partes del equipo y mejoraría la calidad de los entregables, que estarían desarrollados en una única plataforma CAD.

## CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE SIGUIENTES PASOS PARA EL PRODUCTO DESARROLLADO

### *ALCANCES Y LIMITACIONES DEL DISEÑO PROPUESTO*

Más allá de satisfacer las necesidades expresadas por los valores marginales e ideales planteados para cada métrica, se considera que el presente diseño es superior a la mayoría de los diseños actuales por una variedad de razones

- Diseño modular- El diseño propuesto puede trabajar como parte de una cadena de producción retirando las torres alimentadoras a cada lado del diseño. Adicionalmente, se podría modificar con facilidad el número de reactantes a emplear retirando el número correspondiente de cabezales, con la respectiva modificación en costo
- Resolución del dispensador- La resolución alcanzada por los cabezales piezoeléctricos es varios órdenes de magnitud superior a la resolución de las máquinas actuales. Observando las tendencias en el aumento del número de pozos por microplaca, es posible aseverar que el diseño propuesto sigue una tendencia acorde al desarrollo de nuevos avances en el uso de microplacas, y se encuentra listo para liderar dichas tendencias.
- Velocidad de llenado- A pesar de que el diseño propuesto no es significativamente más rápido que sus competidores, se logró mantener esta velocidad y al mismo tiempo mejorar en otras dimensiones sin sacrificar el desempeño en esta métrica, alcanzando una solución

Por otro lado, es difícil definir el tiempo de lavado de la máquina aunque se especula que realizar un par de ciclos de trabajo con agua destilada será suficiente para limpiar por completo los remanentes de reactantes utilizados en ciclos previos. Finalmente, el diseño propuesto no permite succionar líquidos de las microplacas, característica que podría resultar útil para aplicaciones como disoluciones en serie<sup>1</sup> (agregar nota).

### *TRABAJOS POSTERIORES*

De manera complementaria al diseño mecánico de la máquina, existen una variedad de elementos a tomar en consideración antes de poder fabricar comercialmente el producto en cuestión. Algunos de los siguientes temas representan propuestas de ejercicios que es necesario realizar para caracterizar de manera integral el diseño y evaluar su posibilidad de llegar al mercado como un producto comercial.

- Control e interacción entre subsistemas- Se propone realizar un ejercicio que vaya más allá del ciclo de trabajo de la máquina e integre detalladamente los mecanismos de control requeridos para hacer funcionar la máquina de manera esperada.
- Interfaz de usuario- Se propone detallar el mecanismo de programación de la interfaz de usuario, proponiendo el desarrollo de una librería de plantillas predeterminadas para ensayos usados comúnmente (por ejemplo ensayos ELISA) y la compatibilidad de archivos para el llenado de microplacas en formatos ya existentes (por ejemplo archivos de Excel).

- Simulación del ciclo de trabajo- Una vez realizados los dos ejercicios previos es posible realizar una simulación robusta del ciclo de trabajo de la máquina. Este ejercicio permitiría identificar algunas últimas modificaciones necesarias o confirmar el funcionamiento adecuado de la máquina sin tener que comprarla
- Construcción de un prototipo físico- Se propone construir un prototipo físico de la máquina una vez realizados los ejercicios propuestos anteriormente

En términos del proceso de comercialización de la máquina, se proponen dos ejercicios adicionales

- Investigación detallada sobre los costos y viabilidad de fabricación en serie- Se propone realizar un análisis de costos para la máquina contemplando la viabilidad de fabricarla en serie.
- Plan de negocios- Se propone realizar un estudio profundo del potencial de mercado para la máquina diseñada, el posible precio de venta, margen de utilidad, estimado de unidades a vender, costos y procedimientos para obtener una patente y valuación de la misma en caso de querer vender el diseño a una compañía interesada.

Estos ejercicios completarían el ciclo de diseño de la máquina hasta llegar a un producto final comercialmente viable

### *DISCUSIÓN FINAL*

Además de las conclusiones sobre alcances y limitaciones del diseño y propuestas de trabajos posteriores, es posible evaluar el diseño propuesto en tres dimensiones principales para determinar su posible producción en masa. Estas tres dimensiones son confiabilidad, factibilidad y viabilidad.

- Confiabilidad – Los análisis de tiempos, de deflexión y la resolución de la tecnología de impresión de tinta propuestas garantizan que el diseño propuesto funcionará de bajo los parámetros de confiabilidad necesarios para satisfacer las necesidades del cliente. Sin embargo, el posicionamiento de las placas en la banda transportadora puede disminuir la confiabilidad de la máquina si los sistemas de control y detección de la misma no fueran lo suficientemente robustos. En tal caso, se requeriría disminuir la velocidad de la banda para llenar los pozos utilizando un número menor de boquillas que garantice un depósito de líquidos adecuado. Un segundo punto relevante sería un análisis de vibraciones del cabezal en operación para en caso necesario, reforzar la estructura.
- Factibilidad – El diseño propuesto utiliza varios elementos disponibles comercialmente, por lo que es altamente factible que se pudiera fabricar para su comercialización. El detalle más relevante consistiría en realizar una calibración adecuada de la máquina una vez ensamblada para garantizar su funcionamiento adecuado.
- Viabilidad – Durante el proyecto realizamos diversas cotizaciones sobre el costo de las partes disponibles en el mercado. Los resultados de dichas cotizaciones se resumen en la Figura 5. Estos costos representan compras a menudeo por lo que estimamos que podrían reducirse hasta 20% si estableciéramos alianzas comerciales con los vendedores u obtuviéramos precios

de mayoreo en los componentes. Estimando un costo de fabricación de 30% del costo de las partes y un margen esperado de 10-20%, calculamos que:

$$\text{Precio inferior} = (18,629) * 0.8 * 1.3 * 1.1 = 21,311$$

$$\text{Precio inferior} = (19,729) * 0.8 * 1.3 * 1.2 = 24,621$$

Por lo que se estima que el precio de la máquina oscila entre £ 20,000 y £ 25,000. Este precio es competitivo comparándolo con el *benchmark* de la Tabla 4, donde máquinas con características similares llegan a costar hasta £ 80,000. Sin embargo, es posible que los costos sean mayores si hay una expectativa baja de ventas por año considerando que una compañía se dedique exclusivamente a la fabricación de ese producto.

<b>Componente</b>	<b>Cantidad/Descripción</b>	<b>Costo Total (£)</b>
<b>Banda Transportadora</b>	1 Banda transportadora	800 – 900
<b>Software</b>	Licencia de software para el sistema de control y sistema operativo	1,400 – 2,000
<b>Torre de almacenamiento</b>	Torre removible para 40 microplacas	600 – 1,000
<b>Boquillas y Bombas</b>	8 Cabezas de impresion Xaar 1001 @£1000.c/u que incluyen bomba y tanque	8,000
<b>Panel PC para la Interfaz de usuario</b>	1 x 15" industrial panel pc @ £1500	1,500
<b>Robot Cartesiano</b>	Robot Cartesiano Flip Serie X	4167
<b>Cámara</b>	Sistema de vision Cognex In-Sight Micro	2162
<b>Costo estimado de las partes:</b>		<b>18,629 – 19,729</b>

Figura 5. Detalle de costos de los componentes de la máquina

Adicionalmente como una propuesta para una siguiente iteración del diseño mecánico, y derivado del análisis previamente descrito, es posible que se pudieran realizar las siguientes modificaciones:

- Eliminación del robot cartesiano para ajuste vertical - Debido a que la máquina está diseñada para llenar una gran cantidad de microplacas a la vez, es muy probable que el número de ajustes necesarios que justifiquen el uso del robot cartesiano para desplazar el cabezal sean mínimos. En aras de realizar un diseño más costo efectivo, es probable que en una segunda iteración se elimine el robot cartesiano y el cabezal se coloque sobre un soporte fijo. De requerirse, la altura podría variarse ajustando el nivel de la banda transportadora.
- Límite del número de dispensadores independientes - A pesar de que durante la etapa de identificación de las necesidades de usuario se propuso que la máquina tuviera la capacidad de manejar varios fluidos simultáneamente, esta característica requiere que el número de dispensadores, tanques, bombas y contenedores se multipliquen. En una siguiente iteración, es disminuir el número de canales independientes para reactantes permitiría disminuir el costo de fabricación de la máquina aunque también limitará su velocidad de llenado para procedimientos que involucren más de un reactante.

# Apéndices



for Microplates –  
Footprint Dimensions

Secretariat  
**Society for Biomolecular Screening**

## Contents

	<b>Page</b>
Foreword .....	3
1 Scope and purpose .....	4
1.1 Scope .....	4
1.2 Purpose .....	4
2 Normative references.....	4
3 Definitions .....	4
4 Microplate footprint.....	4
4.1 Normal tolerances.....	4
Figure .....	5
Figure 1- Microplate Footprint .....	5
Annex .....	6
Annex A (Informative) Interpretation of Figures .....	6



## Foreword

As early as the first meeting of the Society for Biomolecular Screening (SBS) in 1995, a need for clearly defined dimensional standards of a microplate were identified. At the time, the microplate was already becoming an essential tool used in drug discovery research. At the time, the concept of a microplate was similar among various manufacturers, but the dimensions of microplates produced by different vendors, and even within a single vendors catalog line varied. This often caused numerous problems when microplates were to be used in automated laboratory instrumentation.

In late 1995, members of the SBS began working on defining dimensional standards for the standard 96 well microplate. The first written proposal was released in December 1995 and presented at numerous scientific conferences and journals throughout 1996. This initial proposed standard was officially presented to the membership of SBS for approval at the annual meeting in October 1996 in Basel, Switzerland. Between then and late 1998, various versions of the proposed standards for 96 and 384 well microplates were circulated to the membership of the society. In early 1999, efforts to begin formalizing the proposed standards in preparation for submission to a recognized standards organization were begun. The email ListServ was started in March, and the first regular quarterly meeting of the working committee met in August of that year. To date, the ListServ contains members representing over 100 corporations, educational institutions, and government organizations from over 15 nations.

There is one annex in this standard. Annex A is informative and not considered part of this standard. It is provided as an aid only for the interpretation of specific elements of ASME Y14.5 as they apply to figures in SBS standards.

Suggestions for improvement of this standard will be welcome. They should be sent to the Microplate Standards Development Committee of the Society for Biomolecular Screening, 36 Tamarack Avenue, Suite 348, Danbury, CT 06811.

This standard was processed and approved for submittal to ANSI by the Microplate Standards Development Committee of the Society for Biomolecular Screening. Committee approval of this standard does not necessarily imply that all committee members voted for its approval. At the time it approved this standard, the committee had the following member organizations:

Marc Feiglin, Co-chair  
Carol Homon, Co-chair

### *Organization Represented*

Apogent Discoveries<sup>1,2</sup>  
BD Biosciences<sup>1</sup>  
Beckman Coulter<sup>1,2</sup>  
Boehringer-Ingelheim<sup>3</sup>  
Co Bio Engineering<sup>3</sup>  
Corning<sup>1</sup>  
Greiner BioOne<sup>1</sup>  
Hamilton Co<sup>2</sup>  
Hoffman La Roche<sup>3</sup>

MatriCal<sup>1</sup>  
Merck & Co<sup>3</sup>  
Millipore<sup>1</sup>  
MJ Research<sup>1,2</sup>  
Molecular Devices<sup>1,2</sup>  
REMP<sup>2</sup>  
Tecan<sup>2</sup>  
Thermo Electron<sup>2</sup>  
Whatman<sup>1</sup>

### Interest groups

1. Manufacturers of microplates (n=10)
2. Manufacturers of instrumentation that utilizes microplates (n=8)
3. Users of microplates that do not fit in either of the previous categories (n=4)

# 1 Scope and purpose

## 1.1 Scope

This standard defines the dimensional requirements of the footprint of a microplate as specified in American National Standards covering these microplates.

## 1.2 Purpose

It is the purpose of this standard to describe the minimal dimensions required of a microplate that is considered to meet the standards. This standard also outlines the conditions required for making necessary measurements. Unless otherwise specified, all dimensions are applicable at 20 degrees C (68 degrees F). Compensation may be made for measurements made at other temperatures.

# 2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this American National Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this American National Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards listed below. ASME Y14.5M-1994, *Dimensioning and Tolerancing*

# 3 Definitions

There are many terms and definitions associated with microplates that have special meaning to the industry. The following are definitions of terms used in this document:

3.1 ASME: Abbreviation for the American Society of Mechanical Engineers

3.2 ANSI: Abbreviation for the American National Standards Institute, Inc.

3.3 SBS: Abbreviation for the Society for Biomolecular Screening.

# 4 Microplate footprint

## 4.1 Normal tolerances

### 4.1.1 Footprint

4.1.1.1 The outside dimension of the base footprint, measured within 12.7 mm (0.5000 inches) of the outside corners, shall be as follows:

- Length 127.76 mm  $\pm$  0.25 mm (5.0299 inches  $\pm$  0.0098 inches)
- Width 85.48 mm  $\pm$  0.25 mm (3.3654 inches  $\pm$  0.0098 inches)

4.1.1.2 The outside dimension of the base footprint, measured at any point along the side, shall be as follows:

- Length 127.76 mm  $\pm$  0.5 mm (5.0299 inches  $\pm$  0.0197 inches)
- Width 85.48 mm  $\pm$  0.5 mm (3.3654 inches  $\pm$  0.0197 inches)

4.1.1.3 The footprint must be continuous and uninterrupted around the base of the plate.

### 4.1.2 Corner Radius

4.1.2.1 The four outside corners of the plate's bottom flange shall have a corner radius to the outside of 3.18 mm  $\pm$  1.6 mm (0.1252 inch  $\pm$  0.0630 inches)

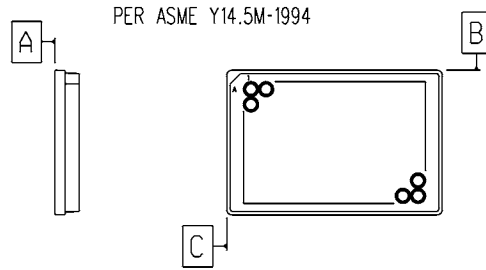


## Annex

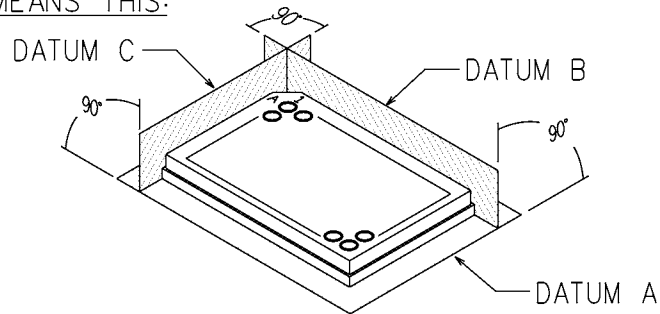
### Annex A (Informative) Interpretation of Figures

Annex A is a general guide to interpreting figures in SBS standards in accordance with ASME Y14.5M-1994. Annex A is not intended to be a substitute for a working knowledge of dimensioning and tolerancing practices contained therein. The specific examples in Annex A are not comprehensive and may or may not apply to the figures in this particular SBS standard.

THIS ON THE DRAWING:



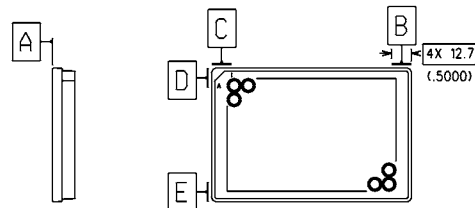
MEANS THIS:



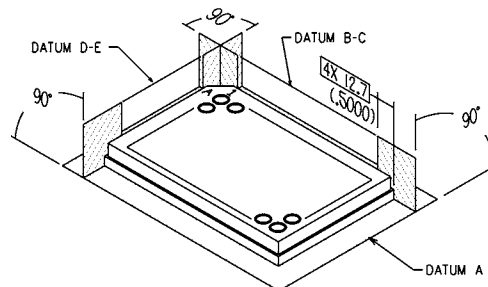
#### A.1 Specifying datum

THIS ON THE DRAWING:

PER ASME Y14.5M-1994 PARAGRAPH 1.7.3, 4.5.10, 6.3.1.2

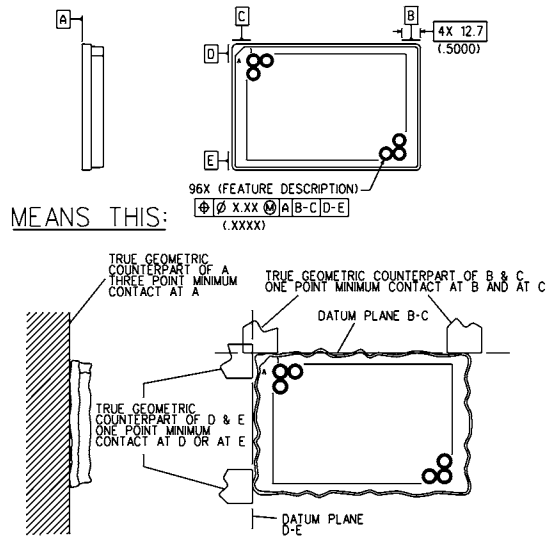


MEANS THIS:



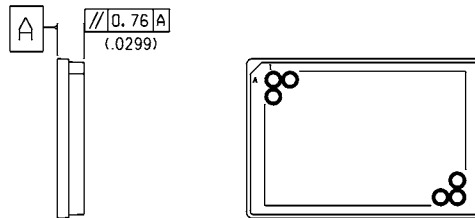
#### A.2 Specifying composite datum

THIS ON THE DRAWING:  
 PER ASME Y14.5M-1994  
 PARAGRAPH 1.7.3, 4.5.10, 4.5.7.1



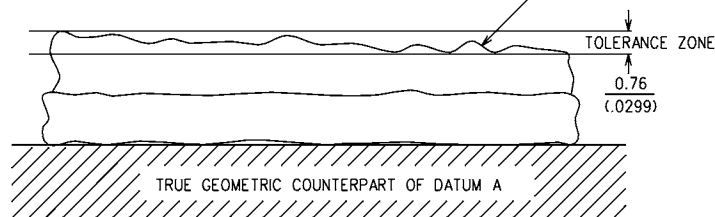
**A.3 Application of composite datum**

THIS ON THE DRAWING:



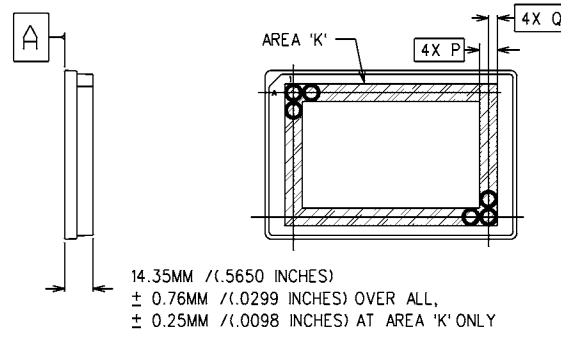
MEANS THIS: PER ASME Y14.5M-1994 PARAGRAPH 6.6.3.1

CONTROLLED SURFACE MUST LAY WITHIN A 0.76MM  $\pm$  (.0299 INCH) WIDE TOLERANCE ZONE, PARALLEL WITH DATUM A, AND MUST NOT EXCEED LIMITS OF SIZE



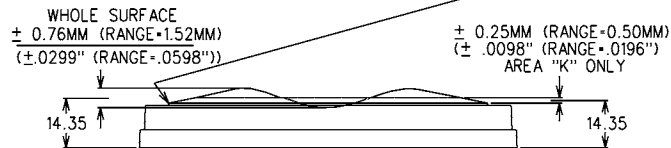
**A.4 Parallelism**

THIS ON THE DRAWING:



MEANS THIS:

PER ASME Y14.5M-1994 PARAGRAPH 1.7.3  
 (STEP ALLOWED PER SBS-2 SHOWN FOR CLARITY)



**A.5 Tolerances over a limited area**



for Microplates –  
Height Dimensions

Secretariat  
**Society for Biomolecular Screening**

## Contents

	<b>Page</b>
Foreword .....	3
1 Scope and purpose .....	4
1.1 Scope .....	4
1.2 Purpose .....	4
2 Normative references.....	4
3 Definitions .....	4
4 Microplate height.....	4
4.1 Typical height with clearance.....	4
4.2 Typical height.....	5
Figure .....	6
Figure 1- Mechanical drawings defining the height of a typical microplate .....	6
Annex .....	7
Annex A (Informative) Interpretation of Figures .....	7



## Foreword

As early as the first meeting of the Society for Biomolecular Screening (SBS) in 1995, a need for clearly defined dimensional standards of a microplate were identified. At the time, the microplate was already becoming an essential tool used in drug discovery research. At the time, the concept of a microplate was similar among various manufacturers, but the dimensions of microplates produced by different vendors, and even within a single vendors catalog line varied. This often caused numerous problems when microplates were to be used in automated laboratory instrumentation.

In late 1995, members of the SBS began working on defining dimensional standards for the standard 96 well microplate. The first written proposal was released in December 1995 and presented at numerous scientific conferences and journals throughout 1996. This initial proposed standard was officially presented to the membership of SBS for approval at the annual meeting in October 1996 in Basel, Switzerland. Between then and late 1998, various versions of the proposed standards for 96 and 384 well microplates were circulated to the membership of the society. In early 1999, efforts to begin formalizing the proposed standards in preparation for submission to a recognized standards organization were begun. The email ListServ was started in March, and the first regular quarterly meeting of the working committee met in August of that year. To date, the ListServ contains members representing over 100 corporations, educational institutions, and government organizations from over 15 nations.

There is one annex in this standard. Annex A is informative and not considered part of this standard. It is provided as an aid only for the interpretation of specific elements of ASME Y14.5 as they apply to figures in SBS standards.

Suggestions for improvement of this standard will be welcome. They should be sent to the Microplate Standards Development Committee of the Society for Biomolecular Screening, 36 Tamarack Avenue, Suite 348, Danbury, CT 06811.

This standard was processed and approved for submittal to ANSI by the Microplate Standards Development Committee of the Society for Biomolecular Screening. Committee approval of this standard does not necessarily imply that all committee members voted for its approval. At the time it approved this standard, the committee had the following member organizations:

Marc Feiglin, Co-chair  
Carol Homon, Co-chair

### *Organization Represented*

Apogent Discoveries<sup>1,2</sup>  
BD Biosciences<sup>1</sup>  
Beckman Coulter<sup>1,2</sup>  
Boehringer-Ingelheim<sup>3</sup>  
Co Bio Engineering<sup>3</sup>  
Corning<sup>1</sup>  
Greiner BioOne<sup>1</sup>  
Hamilton Co<sup>2</sup>  
Hoffman La Roche<sup>3</sup>

MatriCal<sup>1</sup>  
Merck & Co<sup>3</sup>  
Millipore<sup>1</sup>  
MJ Research<sup>1,2</sup>  
Molecular Devices<sup>1,2</sup>  
REMP<sup>2</sup>  
Tecan<sup>2</sup>  
Thermo Electron<sup>2</sup>  
Whatman<sup>1</sup>

### Interest groups

1. Manufacturers of microplates (n=10)
2. Manufacturers of instrumentation that utilizes microplates (n=8)
3. Users of microplates that do not fit in either of the previous categories (n=4)

# 1 Scope and purpose

## 1.1 Scope

This standard defines the dimensional requirements of the height of a microplate as specified in American National Standards covering these microplates.

## 1.2 Purpose

It is the purpose of this standard to describe the minimal dimensions required of a microplate that is considered to meet the standards. This standard also outlines the conditions required for making necessary measurements. Unless otherwise specified, all dimensions are applicable at 20 degrees C (68 degrees F). Compensation may be made for measurements made at other temperatures.

# 2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this American National Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this American National Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards listed below. ASME Y14.5M-1994, *Dimensioning and Tolerancing*

# 3 Definitions

There are many terms and definitions associated with microplates that have special meaning to the industry. The following are definitions of terms used in this document:

3.1 ASME: Abbreviation for the American Society of Mechanical Engineers

3.2 ANSI: Abbreviation for the American National Standards Institute, Inc.

3.3 SBS: Abbreviation for the Society for Biomolecular Screening.

# 4 Microplate height

Microplates that meet this standard may either comply with those standards specified in parts 4.1, or 4.2. Microplates, or instruments that use them, that advertise compliance with this standard must clearly state which of these two parts they meet.

## 4.1 Typical height with clearance

### 4.1.1 Plate height

4.1.1.1 The plate height, measured from Datum A (the resting plane) to the maximum protrusion of the perimeter wells, shall be 14.35 mm  $\pm$  0.25 mm (0.5650 inches  $\pm$  0.0098 inches)

4.1.1.2 The overall plate height, measured from Datum A (the resting plane) to the maximum protrusion of the plate, shall be 14.35 mm  $\pm$  0.76 mm (0.5650 inches  $\pm$  0.0299 inches)

### 4.1.2 Top Surface

4.1.2.1 The maximum allowable projection above the top-stacking surface is 0.76 mm (0.0299 inches). The top-stacking surface is defined as that surface on which another plate would rest when stacked one on another.

4.1.2.2 When resting on a flat surface, the top surface of the plate must be parallel to the resting surface within 0.76 mm (0.0299 inches)

#### 4.1.3 External Clearance to the Plate Bottom

The minimum clearance from Datum A (the resting plane) to the plane of the bottom external surface of the wells shall be 1 mm (0.0394 inches). This clearance is limited to the area of the wells.

## 4.2 Typical height

### 4.2.1 Plate height

4.2.1.1 The plate height, measured from Datum A (the resting plane) to the maximum protrusion of the perimeter wells, shall be 14.35 mm  $\pm$  0.25 mm (0.5650 inches  $\pm$  0.0098 inches)

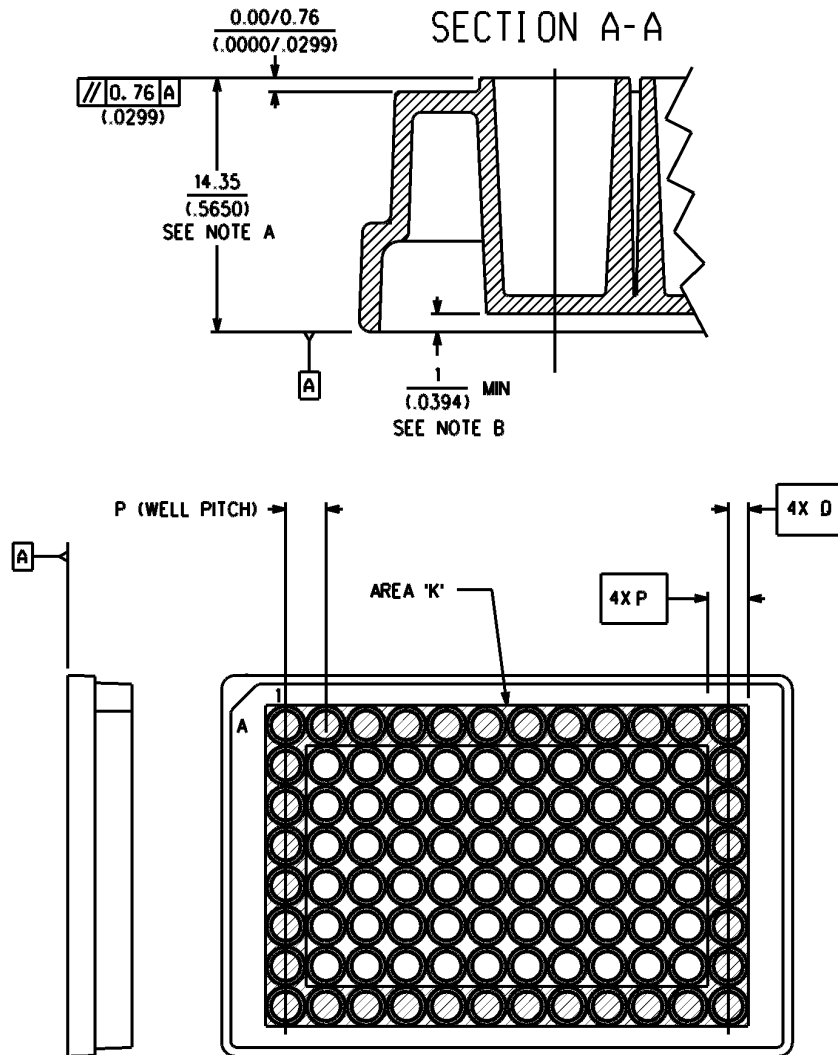
4.2.1.2 The overall plate height, measured from Datum A (the resting plane) to the maximum protrusion of the plate, shall be 14.35 mm  $\pm$  0.76 mm (0.5650 inches  $\pm$  0.0299 inches)

### 4.2.2 Top Surface

4.2.2.1 The maximum allowable projection above the top-stacking surface is 0.76 mm (0.0299 inches). The top-stacking surface is defined as that surface on which another plate would rest when stacked one on another.

4.2.2.2 When resting on a flat surface, the top surface of the plate must be parallel to the resting surface within 0.76 mm (0.0299 inches)

Figure



NO. OF WELLS	96 (SHOWN)	384	1536
P (WELL PITCH)	9/(.3543)	4.5/(.1772)	2.25/(.0886)
Q (HALF P)	4.5/(.1772)	2.25/(.0886)	1.125/(.0443)

NOTES:

- 1 The drawing standard used is ASME Y14.5M-1994
  - 2 The geometry shown is for illustration only and does not imply any preferred or required construction.
  - 3 Dimensions shown are: Millimeters / (Inches)
  - 4 Dimensions and tolerances do not include draft.
- A Typical height = 14.35 mm (0.56560 inches) ± 0.76 mm (0.0299 inches) applied overall, and a tolerance of ± 0.25 mm (0.0098 inches) applied within area “K”.
- B The 1mm (0.0394 inch) clearance applies in the area of the wells only.

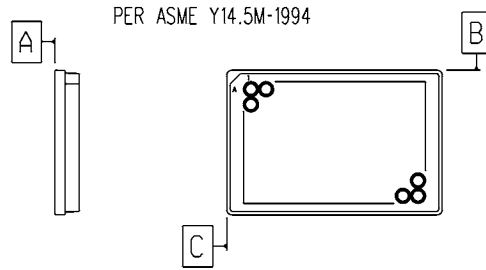
Figure 1- Mechanical drawings defining the height of a typical microplate

## Annex

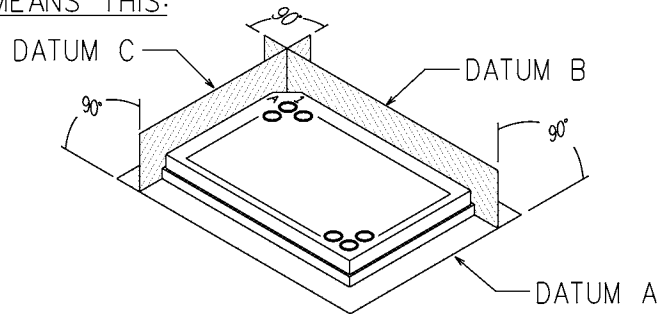
### Annex A (Informative) Interpretation of Figures

Annex A is a general guide to interpreting figures in SBS standards in accordance with ASME Y14.5M-1994. Annex A is not intended to be a substitute for a working knowledge of dimensioning and tolerancing practices contained therein. The specific examples in Annex A are not comprehensive and may or may not apply to the figures in this particular SBS standard.

THIS ON THE DRAWING:



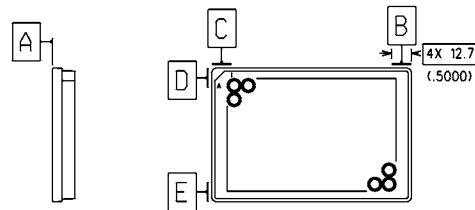
MEANS THIS:



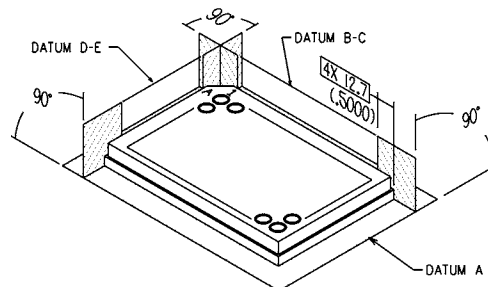
#### A.1 Specifying datum

THIS ON THE DRAWING:

PER ASME Y14.5M-1994 PARAGRAPH 1.7.3, 4.5.10, 6.3.1.2

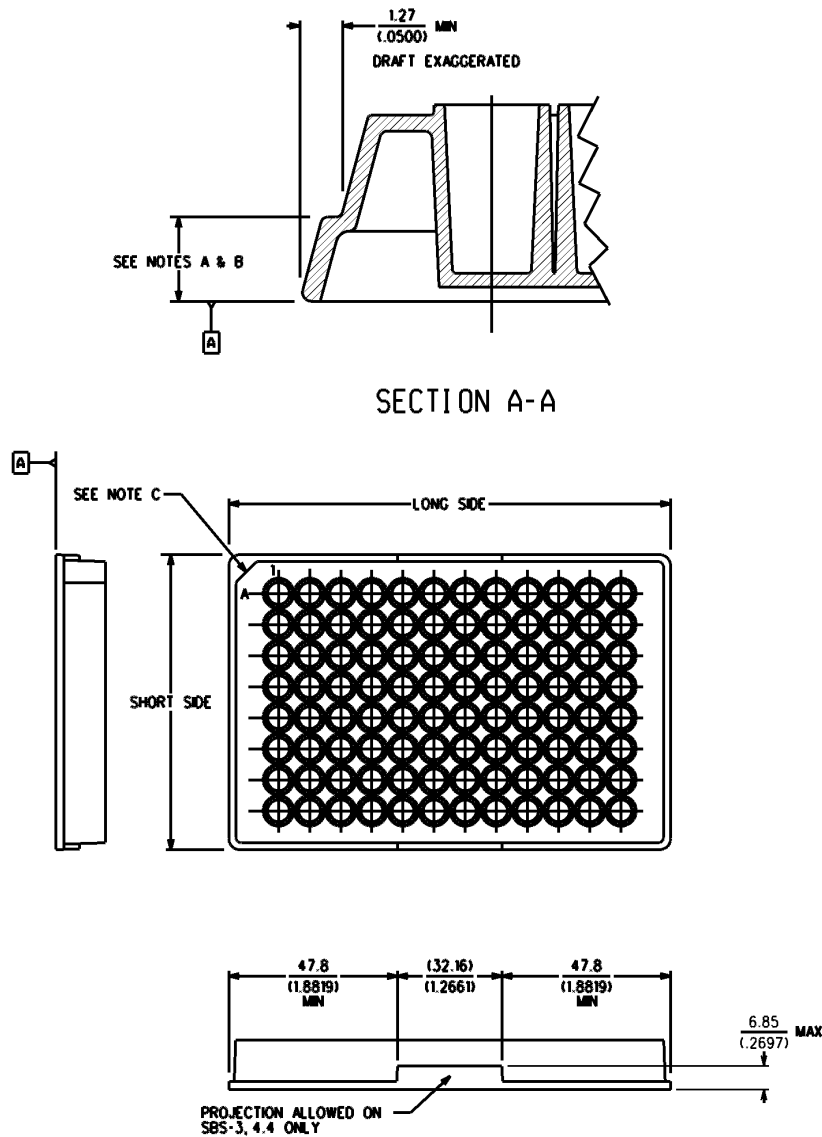


MEANS THIS:



#### A.2 Specifying composite datum

Figure

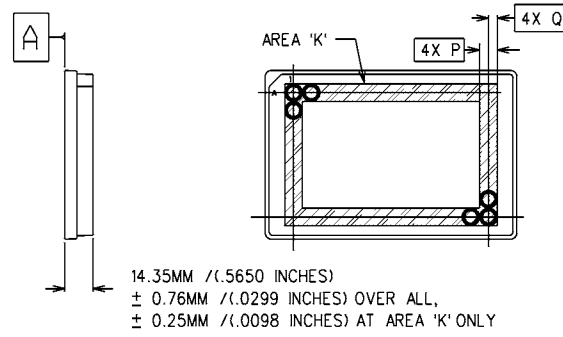


NOTES:

- 1 The drawing standard used is ASME Y14.5M-1994.
  - 2 The geometry shown is for illustration only and does not imply any preferred or required construction.
  - 3 Dimensions shown are: Millimeters / (Inches).
  - 4 Dimensions and tolerances do not include draft.
- A SBS-3, 4.1 short flange height =  $2.41 \pm 0.38$  mm ( $0.0948 \pm 0.0150$  inches)  
 SBS-3, 4.2 medium flange height =  $6.10 \pm 0.38$  mm ( $0.2402 \pm 0.0150$  inches)  
 SBS-3, 4.3 tall flange height =  $7.62 \pm 0.38$  mm ( $0.3000 \pm 0.0150$  inches)  
 SBS-3, 4.4 short flange height with interruptions =  $2.41 \pm 0.38$  mm ( $0.0948 \pm 0.0150$  inches) projections allowed as shown.  
 SBS-3, 4.5 dual flange heights =  $2.41 \pm 0.38$  mm ( $0.0948 \pm 0.0150$  inches) at short sides,  $7.62 \pm 0.38$  mm ( $0.3000 \pm 0.0150$  inches) at long sides.
- B The flange height for SBS-3a, 3b, and 3c must be the same on all four sides.
- C Quantity and location of chamfer(s) is optional. If used the chamfer must not include the flange.

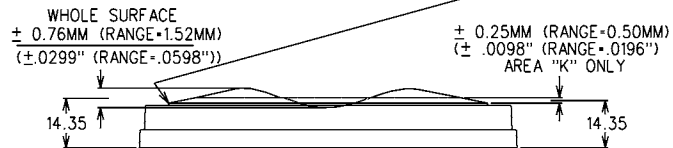
Figure 1- Mechanical drawings defining the flange dimensions of a microplate

THIS ON THE DRAWING:



MEANS THIS:

PER ASME Y14.5M-1994 PARAGRAPH 1.7.3  
(STEP ALLOWED PER SBS-2 SHOWN FOR CLARITY)



**A.5 Tolerances over a limited area**



for Microplates –  
Bottom Outside Flange Dimensions

Secretariat  
**Society for Biomolecular Screening**



## Contents

	<b>Page</b>
Foreword .....	3
1 Scope and purpose .....	4
1.1 Scope .....	4
1.2 Purpose .....	4
2 Normative references.....	4
3 Definitions .....	4
4 Bottom-outside flange .....	4
4.1 Short flange height.....	4
4.2 Medium flange height.....	5
4.3 Tall flange height.....	5
4.4 Short flange height with interruptions .....	5
4.5 Dual flange heights.....	6
Figure .....	7
Figure 1- Mechanical drawings defining the flange dimensions of a microplate .....	7
Annex .....	8
Annex A (Informative) Interpretation of Figures .....	8

## Foreword

As early as the first meeting of the Society for Biomolecular Screening (SBS) in 1995, a need for clearly defined dimensional standards of a microplate was identified. At the time, the microplate was already becoming an essential tool used in drug discovery research. At the time, the concept of a microplate was similar among various manufacturers, but the dimensions of microplates produced by different vendors, and even within a single vendors catalog line varied. This often caused numerous problems when microplates were to be used in automated laboratory instrumentation.

In late 1995, members of the SBS began working on defining dimensional standards for the standard 96 well microplate. The first written proposal was released in December 1995 and presented at numerous scientific conferences and journals throughout 1996. This initial proposed standard was officially presented to the membership of SBS for approval at the annual meeting in October 1996 in Basel, Switzerland. Between then and late 1998, various versions of the proposed standards for 96 and 384 well microplates were circulated to the membership of the society. In early 1999, efforts to begin formalizing the proposed standards in preparation for submission to a recognized standards organization were begun. The email ListServ was started in March, and the first regular quarterly meeting of the working committee met in August of that year. To date, the ListServ contains members representing over 100 corporations, educational institutions, and government organizations from over 15 nations.

There is one annex in this standard. Annex A is informative and not considered part of this standard. It is provided as an aid only for the interpretation of specific elements of ASME Y14.5 as they apply to figures in SBS standards.

Suggestions for improvement of this standard will be welcome. They should be sent to the Microplate Standards Development Committee of the Society for Biomolecular Screening, 36 Tamarack Avenue, Suite 348, Danbury, CT 06811.

This standard was processed and approved for submittal to ANSI by the Microplate Standards Development Committee of the Society for Biomolecular Screening. Committee approval of this standard does not necessarily imply that all committee members voted for its approval. At the time it approved this standard, the committee had the following member organizations:

Marc Feiglin, Co-chair  
Carol Homon, Co-chair

### *Organization Represented*

Apogent Discoveries<sup>1,2</sup>  
BD Biosciences<sup>1</sup>  
Beckman Coulter<sup>1,2</sup>  
Boehringer-Ingelheim<sup>3</sup>  
Co Bio Engineering<sup>3</sup>  
Corning<sup>1</sup>  
Greiner BioOne<sup>1</sup>  
Hamilton Co<sup>2</sup>  
Hoffman La Roche<sup>3</sup>

MatriCal<sup>1</sup>  
Merck & Co<sup>3</sup>  
Millipore<sup>1</sup>  
MJ Research<sup>1,2</sup>  
Molecular Devices<sup>1,2</sup>  
REMP<sup>2</sup>  
Tecan<sup>2</sup>  
Thermo Electron<sup>2</sup>  
Whatman<sup>1</sup>

### Interest groups

1. Manufacturers of microplates (n=10)
2. Manufacturers of instrumentation that utilizes microplates (n=8)
3. Users of microplates that do not fit in either of the previous categories (n=4)

# 1 Scope and purpose

## 1.1 Scope

This standard defines the dimensional requirements of the bottom outside flange of a microplate as specified in American National Standards covering these microplates.

## 1.2 Purpose

It is the purpose of this standard to describe the minimal dimensions required of a microplate that is considered to meet the standards. This standard also outlines the conditions required for making necessary measurements. Unless otherwise specified, all dimensions are applicable at 20 degrees C (68 degrees F). Compensation may be made for measurements made at other temperatures.

# 2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this American National Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this American National Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards listed below. ASME Y14.5M-1994, *Dimensioning and Tolerancing*

# 3 Definitions

There are many terms and definitions associated with microplates that have special meaning to the industry. The following are definitions of terms used in this document:

3.1 ASME: Abbreviation for the American Society of Mechanical Engineers

3.2 ANSI: Abbreviation for the American National Standards Institute, Inc.

3.3 SBS: Abbreviation for the Society for Biomolecular Screening.

# 4 Bottom-outside flange

Microplates that meet this standard may either comply with those standards specified in parts 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, or 4.5. Microplates, or instruments that use them, that advertise compliance with this standard must clearly state which of these five parts they meet.

## 4.1 Short flange height

### 4.1.1 Flange height

4.1.1.1 The height of the bottom outside flange shall be  $2.41 \text{ mm} \pm 0.38 \text{ mm}$  ( $0.0948 \text{ inches} \pm 0.0150 \text{ inches}$ ). This is measured from Datum A (the bottom-resting plane) to the top of the flange.

4.1.1.2 All four sides must have the same flange height.

### 4.1.2 Flange width

4.1.2.1 The width of the bottom outside flange measured at the top of the flange shall be a minimum of  $1.27 \text{ mm}$  ( $0.0500 \text{ inches}$ ).

### 4.1.3 Chamfers (Corner Notches)

4.1.3.1 The quantity and location of chamfer(s) is optional. If used, the chamfer must not include the flange.

## **4.2 Medium flange height**

### 4.2.1 Flange height

4.2.1.1 The height of the bottom outside flange shall be  $6.10 \text{ mm} \pm 0.38 \text{ mm}$  ( $0.2402 \text{ inches} \pm 0.0150 \text{ inches}$ ). This is measured from Datum A (the bottom-resting plane) to the top of the flange.

4.2.1.2 All four sides must have the same flange height.

### 4.2.2 Flange width

4.2.2.1 The width of the bottom outside flange measured at the top of the flange shall be a minimum of  $1.27 \text{ mm}$  ( $0.0500 \text{ inches}$ ).

### 4.2.3 Chamfers (Corner Notches)

4.2.3.1 The quantity and location of chamfer(s) is optional. If used, the chamfer must not include the flange.

## **4.3 Tall flange height**

### 4.3.1 Flange height

4.3.1.1 The height of the bottom outside flange shall be  $7.62 \text{ mm} \pm 0.38 \text{ mm}$  ( $0.3000 \text{ inches} \pm 0.0150 \text{ inches}$ ). This is measured from Datum A (the bottom-resting plane) to the top of the flange.

4.3.1.2 All four sides must have the same flange height.

### 4.3.2 Flange width

4.3.2.1 The width of the bottom outside flange measured at the top of the flange shall be a minimum of  $1.27 \text{ mm}$  ( $0.0500 \text{ inches}$ ).

### 4.3.3 Chamfers (Corner Notches)

4.3.3.1 The quantity and location of chamfer(s) is optional. If used, the chamfer must not include the flange.

## **4.4 Short flange height with interruptions**

### 4.4.1 Flange height

4.4.1.1 The height of the bottom outside flange shall be  $2.41 \text{ mm} \pm 0.38 \text{ mm}$  ( $0.0948 \text{ inches} \pm 0.0150 \text{ inches}$ ). This is measured from Datum A (the bottom-resting plane) to the top of the flange.

4.4.1.2 All four sides must have the same flange height except for an allowable interruption centered along the long side.

### 4.4.2 Interruptions

4.4.2.1 Each of the long sides of the plate shall be allowed to have a single interruption or projection on center.

4.4.2.2 Each edge of the interruption shall be a minimum of  $47.8 \text{ mm}$  ( $1.8819 \text{ inches}$ ) from the nearest edge of the part.

4.4.2.3 The height of the flange at the interruption shall not exceed 6.85 mm (0.2697 inches)

4.4.3 Flange width

4.4.3.1 The width of the bottom outside flange measured at the top of the flange shall be a minimum of 1.27 mm (0.0500 inches).

4.4.4 Chamfers (Corner Notches)

4.4.4.1 The quantity and location of chamfer(s) is optional. If used, the chamfer must not include the flange.

#### **4.5 Dual flange heights**

4.5.1 Flange height

4.5.1.1 The height of the bottom outside flange shall be  $2.41 \text{ mm} \pm 0.38 \text{ mm}$  ( $0.0948 \text{ inches} \pm 0.0150 \text{ inches}$ ) along the short sides of the plate. This is measured from Datum A (the bottom-resting plane) to the top of the flange.

4.5.1.2 The height of the bottom outside flange shall be  $7.62 \text{ mm} \pm 0.38 \text{ mm}$  ( $0.3000 \text{ inches} \pm 0.0150 \text{ inches}$ ) along the long sides of the plate. This is measured from Datum A (the bottom-resting plane) to the top of the flange.

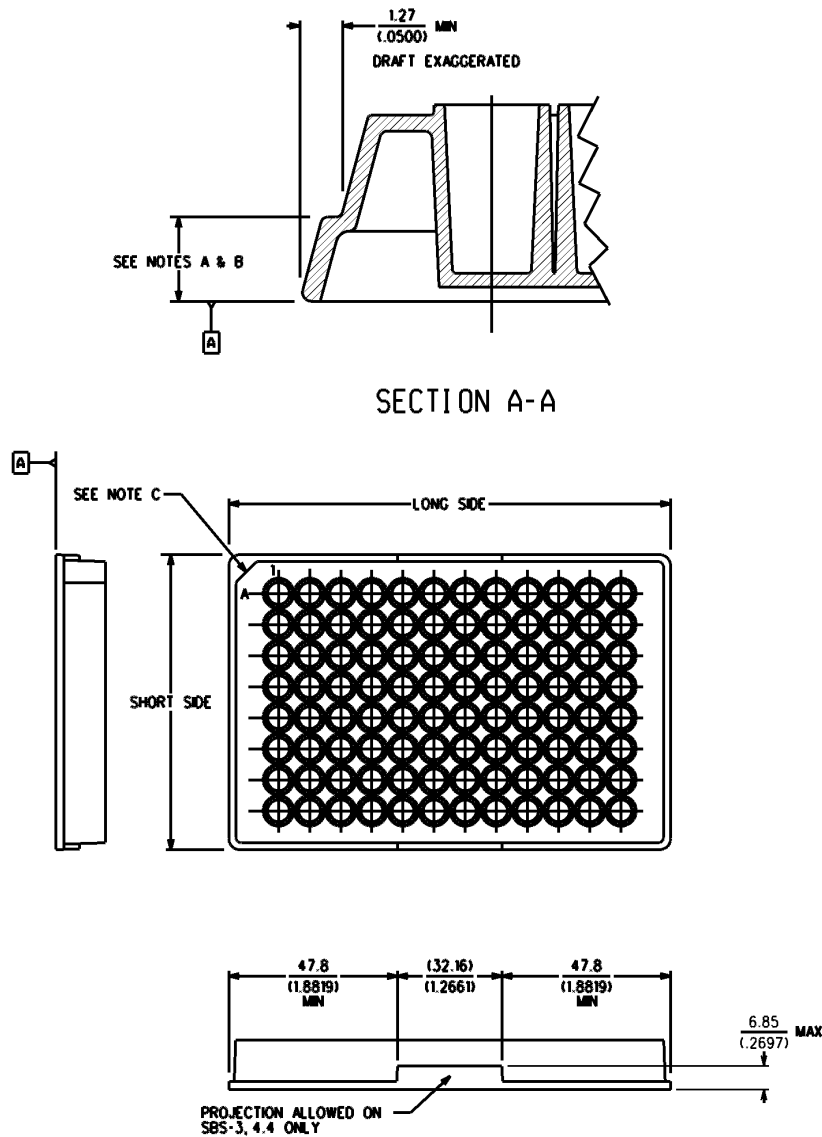
4.5.2 Flange width

4.5.2.1 The width of the bottom outside flange measured at the top of the flange shall be a minimum of 1.27 mm (0.0500 inches).

4.5.3 Chamfers (Corner Notches)

4.5.3.1 The quantity and location of chamfer(s) is optional. If used, the chamfer must not include the flange.

Figure



NOTES:

- 1 The drawing standard used is ASME Y14.5M-1994.
  - 2 The geometry shown is for illustration only and does not imply any preferred or required construction.
  - 3 Dimensions shown are: Millimeters / (Inches).
  - 4 Dimensions and tolerances do not include draft.
- A SBS-3, 4.1 short flange height =  $2.41 \pm 0.38$  mm ( $0.0948 \pm 0.0150$  inches)  
 SBS-3, 4.2 medium flange height =  $6.10 \pm 0.38$  mm ( $0.2402 \pm 0.0150$  inches)  
 SBS-3, 4.3 tall flange height =  $7.62 \pm 0.38$  mm ( $0.3000 \pm 0.0150$  inches)  
 SBS-3, 4.4 short flange height with interruptions =  $2.41 \pm 0.38$  mm ( $0.0948 \pm 0.0150$  inches) projections allowed as shown.  
 SBS-3, 4.5 dual flange heights =  $2.41 \pm 0.38$  mm ( $0.0948 \pm 0.0150$  inches) at short sides,  $7.62 \pm 0.38$  mm ( $0.3000 \pm 0.0150$  inches) at long sides.
- B The flange height for SBS-3a, 3b, and 3c must be the same on all four sides.
- C Quantity and location of chamfer(s) is optional. If used the chamfer must not include the flange.

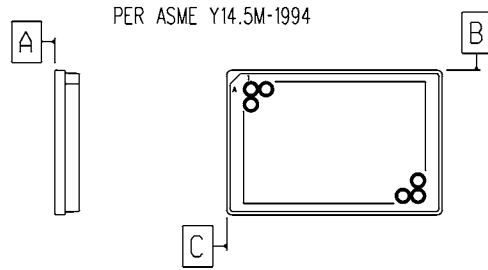
Figure 1- Mechanical drawings defining the flange dimensions of a microplate

## Annex

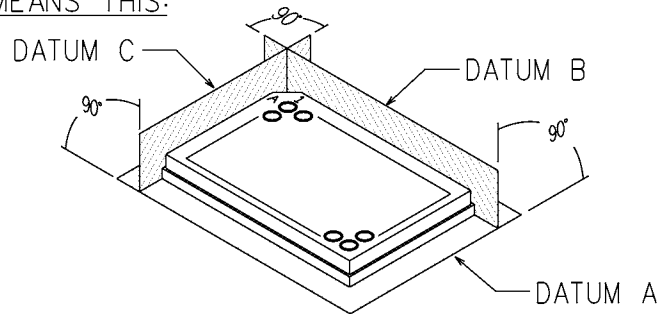
### Annex A (Informative) Interpretation of Figures

Annex A is a general guide to interpreting figures in SBS standards in accordance with ASME Y14.5M-1994. Annex A is not intended to be a substitute for a working knowledge of dimensioning and tolerancing practices contained therein. The specific examples in Annex A are not comprehensive and may or may not apply to the figures in this particular SBS standard.

THIS ON THE DRAWING:



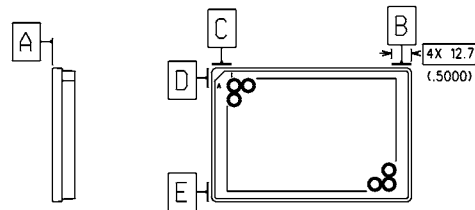
MEANS THIS:



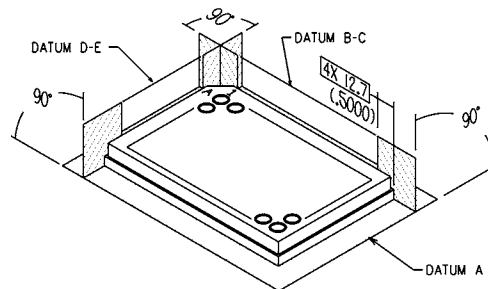
#### A.1 Specifying datum

THIS ON THE DRAWING:

PER ASME Y14.5M-1994 PARAGRAPH 1.7.3, 4.5.10, 6.3.1.2



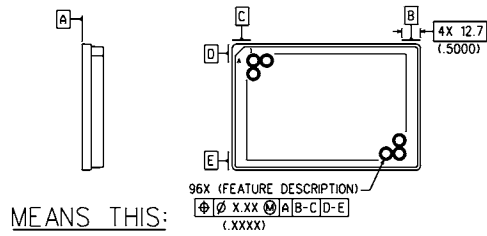
MEANS THIS:



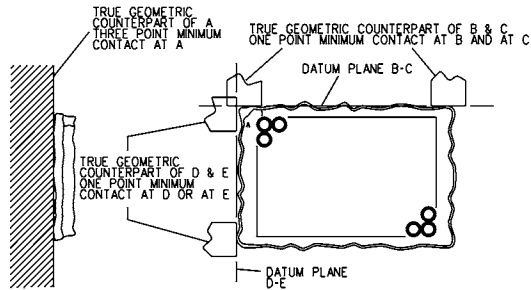
#### A.2 Specifying composite datum

THIS ON THE DRAWING:

PER ASME Y14.5M-1994  
 PARAGRAPH 1.7.3, 4.5.10, 4.5.7.1

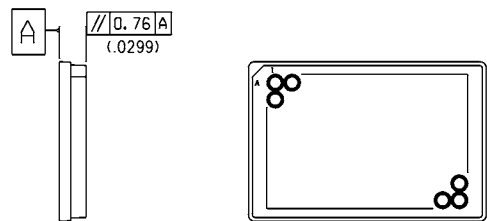


MEANS THIS:



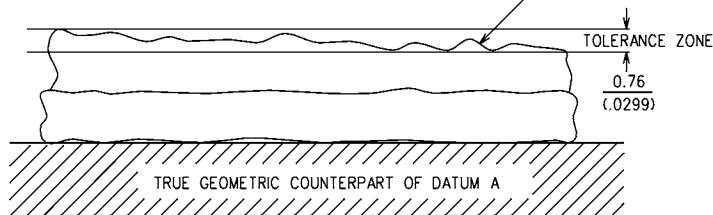
**A.3 Application of composite datum**

THIS ON THE DRAWING:



MEANS THIS: PER ASME Y14.5M-1994 PARAGRAPH 6.6.3.1

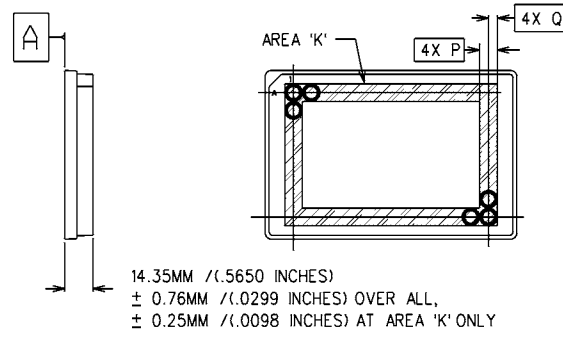
CONTROLLED SURFACE MUST LAY WITHIN A 0.76MM  $\pm$  (.0299 INCH) WIDE TOLERANCE ZONE, PARALLEL WITH DATUM A, AND MUST NOT EXCEED LIMITS OF SIZE



**A.4 Parallelism**

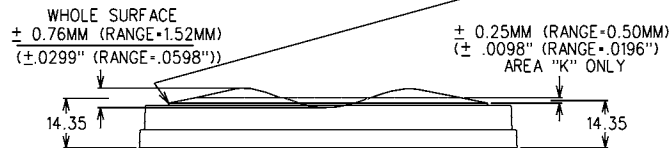


THIS ON THE DRAWING:



MEANS THIS:

PER ASME Y14.5M-1994 PARAGRAPH 1.7.3  
 (STEP ALLOWED PER SBS-2 SHOWN FOR CLARITY)



**A.5 Tolerances over a limited area**



for Microplates –  
Well Positions

Secretariat  
**Society for Biomolecular Screening**

# Contents

	<b>Page</b>
Foreword .....	3
1 Scope and purpose .....	4
1.1 Scope .....	4
1.2 Purpose .....	4
2 Normative references.....	4
3 Definitions .....	4
4 Well positions.....	4
4.1 96 well microplate .....	4
4.2 384 well microplate .....	5
4.3 1536 well microplate .....	6
Figure .....	8
Figure 1- Well positions of a 96 well microplate .....	8
Figure 2- Well positions of a 384 well microplate .....	9
Figure 3- Well positions of a 1536 well microplate .....	10
Annex .....	11
Annex A (Informative) Interpretation of Figures .....	11

## Foreword

As early as the first meeting of the Society for Biomolecular Screening (SBS) in 1995, a need for clearly defined dimensional standards of a microplate was identified. At the time, the microplate was already becoming an essential tool used in drug discovery research. At the time, the concept of a microplate was similar among various manufacturers, but the dimensions of microplates produced by different vendors, and even within a single vendors catalog line varied. This often caused numerous problems when microplates were to be used in automated laboratory instrumentation.

In late 1995, members of the SBS began working on defining dimensional standards for the standard 96 well microplate. The first written proposal was released in December 1995 and presented at numerous scientific conferences and journals throughout 1996. This initial proposed standard was officially presented to the membership of SBS for approval at the annual meeting in October 1996 in Basel, Switzerland. Between then and late 1998, various versions of the proposed standards for 96 and 384 well microplates were circulated to the membership of the society. In early 1999, efforts to begin formalizing the proposed standards in preparation for submission to a recognized standards organization were begun. The email ListServ was started in March, and the first regular quarterly meeting of the working committee met in August of that year. To date, the ListServ contains members representing over 100 corporations, educational institutions, and government organizations from over 15 nations.

There is one annex in this standard. Annex A is informative and not considered part of this standard. It is provided as an aid only for the interpretation of specific elements of ASME Y14.5 as they apply to figures in SBS standards.

Suggestions for improvement of this standard will be welcome. They should be sent to the Microplate Standards Development Committee of the Society for Biomolecular Screening, 36 Tamarack Avenue, Suite 348, Danbury, CT 06811.

This standard was processed and approved for submittal to ANSI by the Microplate Standards Development Committee of the Society for Biomolecular Screening. Committee approval of this standard does not necessarily imply that all committee members voted for its approval. At the time it approved this standard, the committee had the following member organizations:

Marc Feiglin, Co-chair  
Carol Homon, Co-chair

### *Organization Represented*

Apogent Discoveries<sup>1,2</sup>  
BD Biosciences<sup>1</sup>  
Beckman Coulter<sup>1,2</sup>  
Boehringer-Ingelheim<sup>3</sup>  
Co Bio Engineering<sup>3</sup>  
Corning<sup>1</sup>  
Greiner BioOne<sup>1</sup>  
Hamilton Co<sup>2</sup>  
Hoffman La Roche<sup>3</sup>

MatriCal<sup>1</sup>  
Merck & Co<sup>3</sup>  
Millipore<sup>1</sup>  
MJ Research<sup>1,2</sup>  
Molecular Devices<sup>1,2</sup>  
REMP<sup>2</sup>  
Tecan<sup>2</sup>  
Thermo Electron<sup>2</sup>  
Whatman<sup>1</sup>

### Interest groups

1. Manufacturers of microplates (n=10)
2. Manufacturers of instrumentation that utilizes microplates (n=8)
3. Users of microplates that do not fit in either of the previous categories (n=4)

## **1 Scope and purpose**

### **1.1 Scope**

This standard defines the well center positional requirements of a microplate as specified in American National Standards covering these microplates.

### **1.2 Purpose**

It is the purpose of this standard to describe the minimal dimensions required of a microplate that is considered to meet the standards. This standard also outlines the conditions required for making necessary measurements. Unless otherwise specified, all dimensions are applicable at 20 degrees C (68 degrees F). Compensation may be made for measurements made at other temperatures.

## **2 Normative references**

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this American National Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this American National Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards listed below. ASME Y14.5M-1994, *Dimensioning and Tolerancing*

## **3 Definitions**

There are many terms and definitions associated with microplates that have special meaning to the industry. The following are definitions of terms used in this document:

3.1 ASME: Abbreviation for the American Society of Mechanical Engineers

3.2 ANSI: Abbreviation for the American National Standards Institute, Inc.

3.3 SBS: Abbreviation for the Society for Biomolecular Screening.

## **4 Well positions**

Microplates that meet this standard may either comply with those standards specified in parts 4.1, 4.2, or 4.3. Microplates, or instruments that use them, that advertise compliance with this standard must clearly state which of these three parts they meet.

### **4.1 96 well microplate**

#### **4.1.1 Well layout**

4.1.1.1 The wells in a 96 well microplate should be arranged as eight rows by twelve columns.

#### **4.1.2 Well column position**

4.1.2.1 The distance between the left outside edge of the plate and the center of the first column of wells shall be 14.38 mm (0.5661 inches)

4.1.2.2 The left edge of the part will be defined as the two 12.7 mm areas (as measured from the corners) as specified in SBS-1

4.1.2.3 Each following column shall be an additional 9. mm (0.3543 inches) in distance from the left outside edge of the plate.

#### **4.1.3 Well row position**

4.1.3.1 The distance between the top outside edge of the plate and the center of the first row of wells shall be 11.24 mm (0.4425 inches)

4.1.3.2 The top edge of the part will be defined as the two 12.7 mm areas (as measured from the corners) as specified in SBS-1

4.1.3.3 Each following row shall be an additional 9. mm (0.3543 inches) in distance from the top outside edge of the plate.

#### 4.1.4 Positional Tolerance

4.1.4.1 The positional tolerance of the well centers will be specified using so called "True Position". The center of each well will be within a 0.70 mm (0.0276 inches) diameter of the specified location. This tolerance will apply at "RFS" (regardless of feature size).

#### 4.1.5 Well Markings

4.1.5.1 The top left well of the plate shall be marked in a distinguishing manner. Such distinguishing marks include, but are not limited to the following:

- The top left well of the plate can be marked with the letter A or numeral 1 located on the left-hand side of the well.
- The top left well of the plate can be marked with a numeral 1 located on the upper side of the well.

4.1.5.2 Additional markings may be provided.

## 4.2 384 well microplate

### 4.2.1 Well layout

4.2.1.1 The wells in a 384 well microplate should be arranged as sixteen rows by twenty-four columns.

### 4.2.2 Well column position

4.2.2.1 The distance between the left outside edge of the plate and the center of the first column of wells shall be 12.13 mm (0.4776 inches)

4.2.2.2 The left edge of the part will be defined as the two 12.7 mm areas (as measured from the corners) as specified in SBS-1

4.2.2.3 Each following column shall be an additional 4.5 mm (0.1772 inches) in distance from the left outside edge of the plate.

### 4.2.3 Well row position

4.2.3.1 The distance between the top outside edge of the plate and the center of the first row of wells shall be 8.99 mm (0.3539 inches)

4.2.3.2 The top edge of the part will be defined as the two 12.7 mm areas (as measured from the corners) as specified in SBS-1

4.2.3.3 Each following row shall be an additional 4.5 mm (0.1772 inches) in distance from the top outside edge of the plate.

### 4.2.4 Positional Tolerance

4.2.4.1 The positional tolerance of the well centers will be specified using so called “True Position”. The center of each well will be within a 0.70 mm (0.0276 inches) diameter of the specified location. This tolerance will apply at “RFS” (regardless of feature size).

#### 4.2.5 Well Markings

4.2.5.1 The top left well of the plate shall be marked in a distinguishing manner. Such distinguishing marks include, but are not limited to the following:

- The top left well of the plate can be marked with the letter A or numeral 1 located on the left-hand side of the well.
- The top left well of the plate can be marked with a numeral 1 located on the upper side of the well.

4.2.5.2 Additional markings may be provided.

### **4.3 1536 well microplate**

#### 4.3.1 Well layout

4.3.1.1 The wells in a 1536 well microplate should be arranged as thirty-two rows by forty-eight columns.

#### 4.3.2 Well column position

4.3.2.1 The distance between the left outside edge of the plate and the center of the first column of wells shall be 11.005 mm (0.4333 inches)

4.3.2.2 The left edge of the part will be defined as the two 12.7 mm areas (as measured from the corners) as specified in SBS-1

4.3.2.3 Each following column shall be an additional 2.25 mm (0.0886 inches) in distance from the left outside edge of the plate.

#### 4.3.3 Well row position

4.3.3.1 The distance between the top outside edge of the plate and the center of the first row of wells shall be 7.865 mm (0.3096 inches)

4.3.3.2 The top edge of the part will be defined as the two 12.7 mm areas (as measured from the corners) as specified in SBS-1

4.3.3.3 Each following row shall be an additional 2.25 mm (0.0886 inches) in distance from the top outside edge of the plate.

#### 4.3.4 Positional Tolerance

4.3.4.1 The positional tolerance of the well centers will be specified using so called “True Position”. The center of each well will be within a 0.50 mm (0.0197 inches) diameter of the specified location. This tolerance will apply at “RFS” (regardless of feature size).

#### 4.3.5 Well Markings

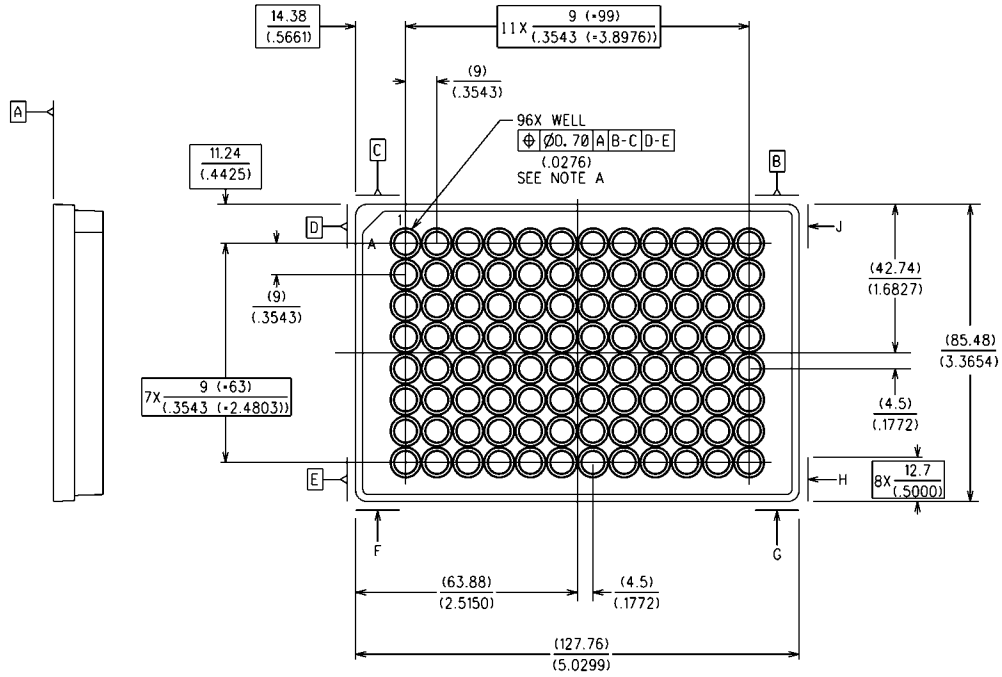
4.3.5.1 The top left well of the plate shall be marked in a distinguishing manner. Such distinguishing marks include, but are not limited to the following:

- The top left well of the plate can be marked with the letter A or numeral 1 located on the left-hand side of the well.
- The top left well of the plate can be marked with a numeral 1 located on the upper side of the well.

4.3.5.2 Additional markings may be provided.



**Figure**

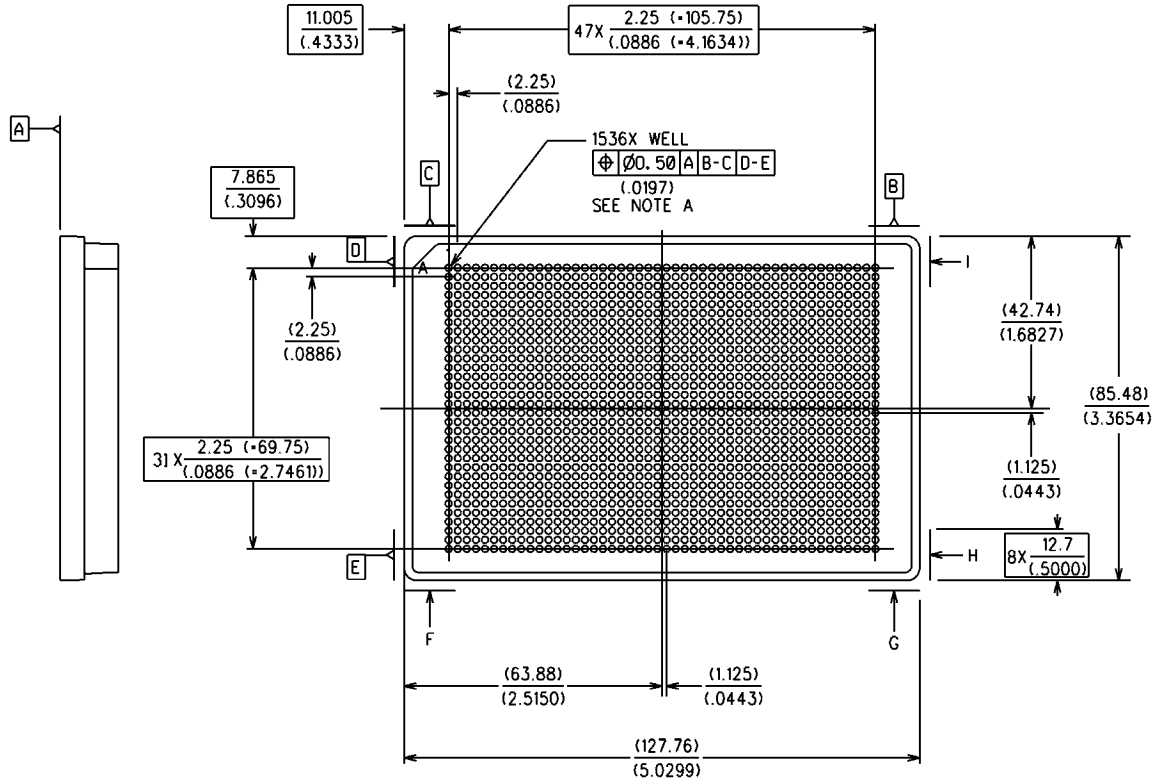


**NOTES:**

- 1 The drawing standard used is ASME Y14.5M-1994
- 2 The geometry shown is for illustration only and does not imply any preferred or required construction.
- 3 Dimensions shown are: Millimeters / (Inches)
- 4 Dimensions and tolerances do not include draft.
- A The top left well of the plate shall be clearly marked (e.g.: on the left with the letter “A” or the numeral “1”, or at the top with the numeral “1”). Additional markings may be provided.

**Figure 1- Well positions of a 96 well microplate**





NOTES:

- 1 The drawing standard used is ASME Y14.5M-1994
  - 2 The geometry shown is for illustration only and does not imply any preferred or required construction.
  - 3 Dimensions shown are: Millimeters / (Inches)
  - 4 Dimensions and tolerances do not include draft.
- A The top left well of the plate shall be clearly marked (e.g.: on the left with the letter "A" or the numeral "1", or at the top with the numeral "1"). Additional markings may be provided.

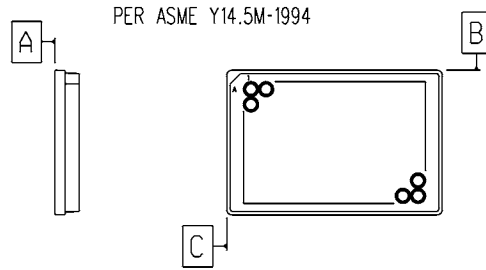
**Figure 3- Well positions of a 1536 well microplate**

## Annex

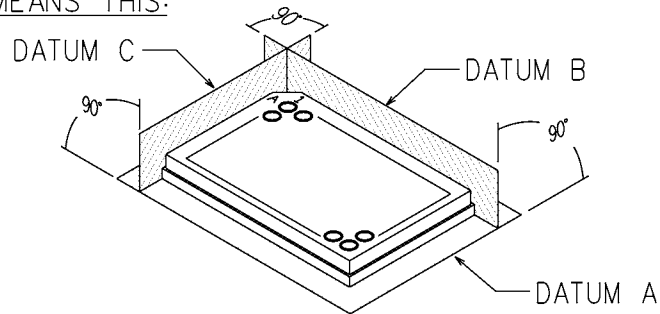
### Annex A (Informative) Interpretation of Figures

Annex A is a general guide to interpreting figures in SBS standards in accordance with ASME Y14.5M-1994. Annex A is not intended to be a substitute for a working knowledge of dimensioning and tolerancing practices contained therein. The specific examples in Annex A are not comprehensive and may or may not apply to the figures in this particular SBS standard.

THIS ON THE DRAWING:



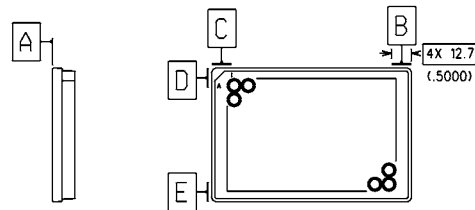
MEANS THIS:



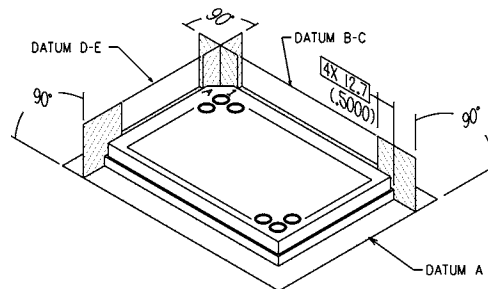
#### A.1 Specifying datum

THIS ON THE DRAWING:

PER ASME Y14.5M-1994 PARAGRAPH 1.7.3, 4.5.10, 6.3.1.2

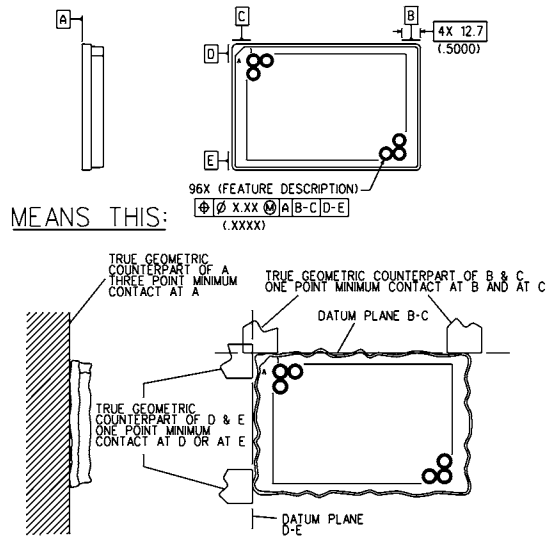


MEANS THIS:



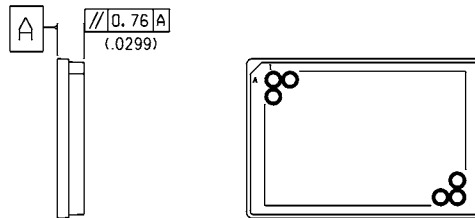
#### A.2 Specifying composite datum

THIS ON THE DRAWING:  
 PER ASME Y14.5M-1994  
 PARAGRAPH 1.7.3, 4.5.10, 4.5.7.1



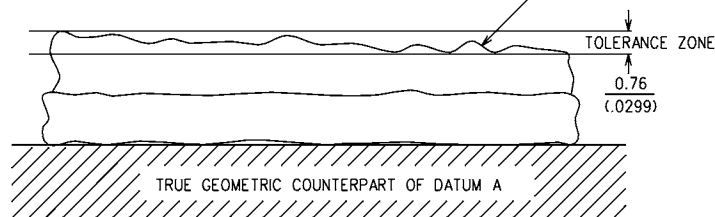
**A.3 Application of composite datum**

THIS ON THE DRAWING:



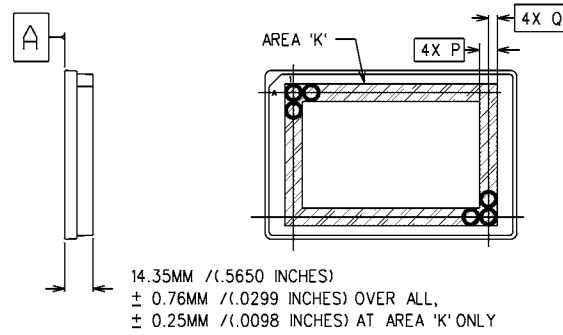
MEANS THIS: PER ASME Y14.5M-1994 PARAGRAPH 6.6.3.1

CONTROLLED SURFACE MUST LAY WITHIN A 0.76MM (+.0299 INCH) WIDE TOLERANCE ZONE, PARALLEL WITH DATUM A, AND MUST NOT EXCEED LIMITS OF SIZE



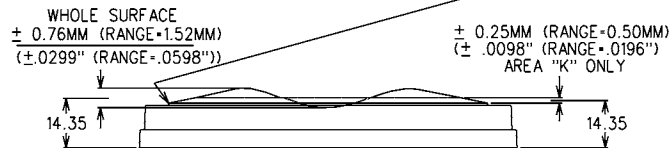
**A.4 Parallelism**

THIS ON THE DRAWING:



MEANS THIS:

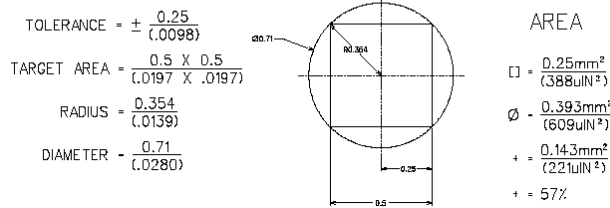
PER ASME Y14.5M-1994 PARAGRAPH 1.7.3  
(STEP ALLOWED PER SBS-2 SHOWN FOR CLARITY)



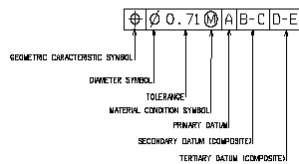
**A.5 Tolerances over a limited area**

PER ASME Y14.5M-1994  
PARAGRAPH 5.3.2.1

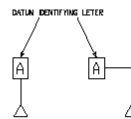
TRUE POSITION vs ± TOLERANCE



PER ASME Y14.5M-1994  
PARAGRAPH 3.4.3



PER ASME Y14.5M-1994  
PARAGRAPH 3.3.2



**A.6 True position vs ± tolerance**







## APÉNDICE 3.1 ENTREVISTA CON EL DR. DARKO BUTINA

Pregunta- ¿En qué tipo de situaciones se utilizan las microplacas?

Respuesta- Mi experiencia directa no es en esta área, sin embargo les sugiero que investiguen en las siguientes áreas para tener una mejor idea de la industria:

- Robótica en química combinacional
- High throughput screening (HTS)

También les recomiendo tomen en consideración los siguientes detalles en el desarrollo de software para una segunda etapa del desarrollo de su proyecto:

1. Función/Objeto que asigna coordenadas x/y al centro de cada pozo en la microplaca
2. Función/Objeto para controlar la coordenada z (arriba y abajo) del dispositivo de manejo de líquido
3. Función/Objeto para controlar la posición del contenedor de líquido y mantener un volumen mínimo requerido para llenar las microplacas
4. Función/Objeto para monitorear cuánto líquido está en el contenedor principal
5. Función/Objeto para controlar el volumen exacto de reactante a depositar en cada pozo
6. Función/Objeto para mover el dispositivo de manejo de líquido de pozo a pozo y detectar que han sido llenados correctamente
7. Función/Objeto para mover la microplaca vacía a la posición inicial donde será llenada
8. Función/Objeto para sellar la microplaca en caso de requerirse
9. Función/Objeto para mover la placa llena a un contenedor de almacenamiento
10. Los depósitos de microplacas llenas y vacías deben tener un sistema de coordenadas independientes

Pregunta- ¿Sería provechoso tener un sistema de manejo de fluidos que pudiera controlar ocho sustancias distintas simultáneamente para una aplicación en química o biología?

Respuesta- La respuesta corta sería depende.

Si están trabajando con una compañía que diseña sistemas de manejo de líquidos y un cliente potencial viene y solicita una máquina que pueda manipular simultáneamente x número de reactivos, claro que se puede diseñar. Sin embargo, probablemente están conscientes que al ir de un solo canal a múltiples canales de líquidos, Todos los aspectos de diseño (costos, complejidad y precio entre otros) crecerán exponencialmente (no en manera lineal). En caso de que estén empleando un fluido, generalmente se compran volúmenes de varios mililitros de sustancia. Los experimentos a los que se

refieren generalmente solo usan microlitros de estos líquidos para ser depositados en cada pozo. Un diseño de un solo canal no debe tener mayor complejidad, ya que se cuenta con un depósito único de fluido, un solo tubo para succionarlo del contenedor, el cual se lava y está listo para un nuevo ciclo de trabajo con otro fluido. Tan pronto como se comiencen a usar múltiples canales para diversos fluidos, se requerirán múltiples depósitos simultáneos de reactivos y un cabezal mucho más complejo. De cualquier forma que se analice, el uso de múltiples canales tendrá un impacto significativo en el diseño de su máquina, aumentando la complejidad y potencialmente difícil de utilizar para el usuario. Por ello les propongo dividan el proyecto en dos sub-proyectos:

1. Proyecto con un solo canal de líquidos
2. Proyecto con múltiples canales de líquidos

Con énfasis en que el sistema de múltiples canales de líquidos deberá tomar inconsideración el tamaño del prototipo y los cambios requeridos en la forma de almacenamiento del líquido.

### APÉNDICE 3.2 ENTREVISTA CON IVA BUZANCIC

Pregunta- ¿Para qué usas las microplacas?

Respuesta- En bioquímica cuando estamos probando la actividad de enzimas, generalmente ponemos un solvente en el primer pozo (pozo control) y en el segundo pozo la enzima 1, en el tercer pozo una combinación de las enzimas 1 y 2, una combinación de las enzimas 1, 2 y 3 en el cuarto pozo. Entonces se deposita una muestra de la enzima 2 en el quinto pozo, una combinación de las enzimas 2 y 3 en el sexto pozo y una muestra de la enzima 3 en el séptimo.

Esa es la fila A. En toda la fila ponemos el mismo reactante (una sustancia de prueba). Para la fila B depositamos la misma combinación de enzimas y cambiamos el reactante. En cada fila cambiamos el reactante o colocamos una mezcla de 2 o 3 reactantes. Una vez que hemos depositado las enzimas y reactantes esperamos a que los compuestos reaccionen, y posteriormente probamos la absorción de cada pozo. Mi vida sería mucho más sencilla si pudieran desarrollar una máquina que llenara los pozos con el mismo reactante (por ejemplo la fila A con el mismo reactante) y probarlos al mismo tiempo. El problema sería que habría que predefinir manualmente cómo llenar los pozos en términos de sustancias y cantidad de sustancia a depositar en cada pozo.

Pregunta- ¿Nos puedes explicar el proceso de High Throughput Screening (HTS)?

Respuesta- Imagina que quieres probar una cierta cantidad de compuestos activos. Estás al comienzo de tu investigación, por lo que no estás segura de lo que estás buscando. Ahí es cuando se usaría el proceso de HTS. Se pueden probar unos 200,000 compuestos en una semana. Este proceso realmente acelera el tiempo invertido en descubrimiento de fármacos o bioactividad de proteínas.

Se tiene una biblioteca o lista de compuestos previamente probados por sus características, como solubilidad, absorción de cierta longitud de onda, peso molecular, número de enlaces entre moléculas, entre otros y puedes comparar tus resultados con los de la biblioteca. HTS requiere un robot que llene

los pozos (ahí es donde entran ustedes) un software que controla el manejo de líquidos y algún método de sensado o detección. Primero ponen los compuestos deseados en los pozos y otros reactantes que pueden ser distintos para cada pozo. En algunos casos se ponen los mismos reactantes en distintos pozos o se dejan pozos sin reactantes como pozos control. Entonces el robot o los robots llevan las microplacas de una estación a otra, llenando las microplacas, probando resultados y agregando más reactantes (en cantidades muy pequeñas, del orden de microlitros). Cuando un pozo es un "hit", es decir, que el pozo coincide con un compuesto de la biblioteca, se verifica más cuidadosamente el contenido depositado. Es de esta forma que con una prueba de HTS se pueden probar un gran número de compuestos simultáneamente, hasta que se encuentra el compuesto que se está buscando, o una combinación de compuestos que tengan el resultado esperado.

Pregunta- ¿Cómo usarías una máquina de llenado de microplacas en tu entorno (académico)?

Respuesta- Sería excelente contar con una máquina para llenar placas automáticamente, el principal reto que imagino sería programarla para llenar los pozos de la manera deseada, o extraer líquidos de un pozo determinado

Pregunta- ¿Cuántas sustancias usas comúnmente para un experimento de esta naturaleza?

Respuesta- Eso es variable, algunas veces dos algunas veces hasta 23. Depende del tamaño del experimento.

Pregunta- ¿Generalmente cuánto tiempo tardas en llenar una microplaca de 96 pozos manualmente?

Respuesta- En realidad depende del número de sustancias, para dos reactantes tardaría alrededor de 8 horas. Pero es difícil decir, algunas veces tienes muchos reactivos y aun así acabas en 5 horas.

Pregunta- ¿Alguna vez has visto una máquina de llenado de microplacas para ambientes académicos?

Respuesta- No, no tenemos eso; pero serían muy útiles. Generalmente haces todo tú mismo, y eso lleva a cometer errores cuando estás trabajando con muchos compuestos

Pregunta- Regresando al tema de HTS, mencionaste varias estaciones de trabajo, ¿Qué funciones ejecuta cada estación?

Respuesta- Algunas llenan las microplacas, otras sólo transfieren las placas de un lado a otro y unas más corren ciertas pruebas en las placas como en un cromatógrafo.

Otra cosa que se me ocurre es que la máquina tuviera varias puntas de pipetas intercambiables. Así podrías usar múltiples sustancias sin peligro de contaminación. No necesitarías cambiar toda la pipeta, sólo la punta. Esas puntas son baratas.

### APÉNDICE 3.3 ENTREVISTA CON GIANELLA GARCÍA

Pregunta- ¿Estás familiarizada o has utilizado una máquina llenadora de microplacas? ¿cómo es que se usan?

Respuesta- Nunca he utilizado directamente una de estas máquinas ni las he visto directamente, pero he asistido a múltiples seminarios y presentaciones de distintos investigadores de todas partes del mundo que sí las usan. Ellos están enfocados en trabajos de secuenciación, y usan máquinas desde las más sencillas hasta las más avanzadas, como la Solexa, y otras que realizan pirosecuenciación como la 454 Roche. También se usan en microarreglos para ADN, ARN y proteínas.

Pregunta- ¿Para qué funciones se utilizan las llenadoras de microplacas?

Respuesta- Se utilizan para llenar automáticamente microplacas de distintos tamaños, desde las de 96 pozos hasta algunas que pueden tener más de 3000 micropozos en una sola placa.

Pregunta- Si tuvieras una máquina para llenar microplacas, ¿qué características serían deseables?

Respuesta- Nunca he utilizado una, pero creo que sería FANTÁSTICO para algunos de los proyectos que estoy realizando actualmente, ya que tengo que generar aproximadamente 400 muestras que debo introducir en un secuenciador utilizando para ello un solo tubo capilar, y debo llenar 96 muestras para colocar en los 96 pozos para aprovechar al máximo el uso de secuenciador. Lo que estoy haciendo actualmente es poner las muestras en cada pozo una por una en su pozo correspondiente, y obviamente una necesita concentrarse mucho porque es relativamente fácil equivocarse, por lo que es un proceso que consume mucho tiempo.

Pregunta- Cuando usas una microplaca, ¿cuál es la cantidad más pequeña de reactante que depositas en un pozo con las pipetas?

Respuesta- La cantidad más pequeña que puedo depositar con las pipetas es 1.5 microlitros.

Pregunta- ¿Cuántos reactantes usas normalmente?

Respuesta- Uso dos, uno llamado PCR y una mezcla de formaldehído y LIZ 500 para el secuenciador

## APÉNDICE 3.4 ENTREVISTA CON EMMA DUNCAN

Pregunta- ¿Para qué utilizas microplacas?

Respuesta- Utilizamos las microplacas para poner muestras de ADN, generalmente usamos las microplacas de 96 pozos para reacciones en cadena de polimerasa, que amplifica una parte particular del ADN (que indica una mutación) una gran cantidad de veces. Esta mutación puede ser un indicador de células cancerosas o alguna enfermedad.

Pregunta- ¿Nos podrías explicar el principio de funcionamiento detrás del proceso de High Throughput Screening (HTS) y su uso en tu campo de investigación?

Respuesta- HTS se usa para acelerar el proceso de análisis de muestras para alcanzar resultados más confiables en menor tiempo. Los resultados obtenidos tienen mayor validez debido a la gran cantidad de muestras generadas. El proyecto del genoma humano fue posible gracias a avances en este campo y muchos otros. El proyecto Hapmap (mapa de dónde hay mutaciones en un genoma) también empleó esta técnica.

Pregunta- ¿Me podrías indicar de qué manera se beneficiaría tu investigación con una máquina que llenara las microplacas automáticamente?

Respuesta- El llenado de pozos es una tarea tediosa, estresante y tardada. También sería muy útil contar con un método de medición y dispensado de líquidos ya que una pipeta manual se usa para depositar las sustancias, por lo que errores humanos e inconsistencias en la medición de reactantes son comunes.

Pregunta- ¿Cuántos líquidos distintos se pueden llegar a utilizar en una aplicación de laboratorio?

Respuesta- Alrededor de ocho

Pregunta- ¿Cuánto tiempo te toma llenar una de estas microplacas manualmente?

Respuesta- Hoy llené 80 pozos de una placa con 8 sustancias distintas y me tomó aproximadamente media hora.

Pregunta- ¿Has visto/utilizado una máquina llenadora de microplacas?

Respuesta- Hay una pipeta manual de 12 canales que puede ser usada, esta llenadora de 12 canales usa la misma sustancia para cada canal. Son bastante difíciles de usar, y requieren de practica; debes presionar la pipeta para colocar las puntas correctamente, de lo contrario estas se caen.

Pregunta- ¿Con qué fluidos trabajas normalmente?

Respuesta- Soluciones de ADN, MgCl, *Primers* utilizados para ayudar a identificar secuencias específicas de ADN gracias a su naturaleza complementaria, agua desionizada.

Pregunta- ¿Cuáles son las medidas típicas de un fluido que se depositan en los pozos?

Respuesta- Generalmente se usa de 1 a 100 microlitros.

### APÉNDICE 3.5 RESUMEN DE LA ENTREVISTA CON EL DR. JORGE RAMÍREZ

Las microplacas, también conocidas como placas ELISA en memoria de uno de los ensayos por los que se popularizó su uso, se emplean para almacenar muestras con una variedad de propósitos. Algunos de ellos contienen la amplificación de ADN debido a una reacción en cadena de polimerasa. Las microplacas tienen unos orificios llamados pozos, que aumentan en múltiplos de 4. Su largo y ancho está estandarizado, pero su altura puede variar de 5 a 10 milímetros determinando el volumen de llenado de los pozos.

En el laboratorio de microarreglos tenemos una máquina Biomek FX de la marca Beckam Coulter, que utilizamos para llenar microplacas con una gran precisión. Esta máquina puede llenar microplacas de hasta 384 pozos con un volumen de 1 a 20 mililitros o 1 a 200 microlitros con una precisión casi perfecta. Esta máquina puede medir hasta 0.5 microlitros, pero su precisión disminuye en este rango. La máquina es suficientemente versátil como para mover la placa de un lugar a otro, incluso en diagonal. Requiere un mínimo de mantenimiento y está programada para limitar automáticamente el volumen de llenado al volumen máximo de la microplaca (por ejemplo la máquina no permitirá al usuario llenar los pozos con un fluido mayor al volumen máximo por pozo).

La máquina funciona con servomotores y una transmisión de engranes. Cuesta aproximadamente 175,000 USD. Hay 4 máquinas de este tipo en México (una en el Instituto Mexicano de Medicina Genómica, otro en el Centro de Ciencias Genómicas en Irapuato, la máquina del Laboratorio de Microarreglos de la UNAM y una cuarta en otra institución), aproximadamente unas 50 en EUA y 3 más en América Latina. Esta máquina puede ser integrada con otras máquinas para optimizar su funcionamiento, por ejemplo adaptando un lector de código de barras.

El Laboratorio de Microarreglos también tiene máquinas manuales que se utilizan para llenar pozos en incrementos de 8 o 12. Permiten llenar microplacas con rangos de 1 a 20 microlitros y 1 a 500 microlitros (para pozos de mayor volumen). Su costo oscila alrededor de los 1,200 USD. Las principales marcas que fabrican estos instrumentos son Rainin, Gilson y Eppendorf. Debido a que son operados manualmente, se cometen errores de precisión con frecuencia.

El laboratorio también cuenta con una máquina que deposita líquidos con extrema precisión, con una resolución de hasta un nanolitro. Se utiliza para hacer microarreglos de ADN. Es de la marca Virtek. Su precio se encuentra entre los 40,000 y los 60,000 USD. Puede desplazar su cabezal 50 micrones en

cualquier dirección (resolución de desplazamiento). Utiliza motores a pasos con *encoders* ópticos y un tornillo sinfín para mover el cabezal.

Ambas máquinas pueden verse en operación en la página [microarrays.ifc.unam.mx](http://microarrays.ifc.unam.mx)

### APÉNDICE 3.6 RESULTADOS DEL CUESTIONARIO INICIAL EN UNA ESCALA LIKERT DE 5 PUNTOS

La pregunta y respuestas siguientes fueron presentadas a algunos de los entrevistados para determinar si el uso de 8 canales sería un requerimiento del cliente valioso

Pregunta- ¿Sería benéfico el uso de 8 canales distintos de manejo de fluidos para llenar las microplacas?

Muy de acuerdo      De acuerdo      Neutral      En desacuerdo      Muy en desacuerdo

Respuestas-

Dr. Darko Butina: De acuerdo

Iva Buzancic: Muy de acuerdo

Emma Duncan: Muy de acuerdo

Dr. Rob Thomas: De acuerdo

## APÉNDICE 4.1 ESPECIFICACIONES DE L CABEZAL PI EZOELÉCTRICO XAAR 1001 CON BOMBA

Especificaciones del cabezal

<b>Atributo</b>	<b>Xaar 1001</b>	<b>Unidad</b>
<b>Boquillas activas</b>	1000	-
<b>Print Swath Width</b>	70.5	mm
<b>Volumen de la gota</b>	80	pl
<b>Velocidad de la gota</b>	6	m/s
<b>Frecuencia típica de disparo</b>	7.2	KHz
<b>Dimensiones (LxAnxAI)</b>	130x30x50	mm

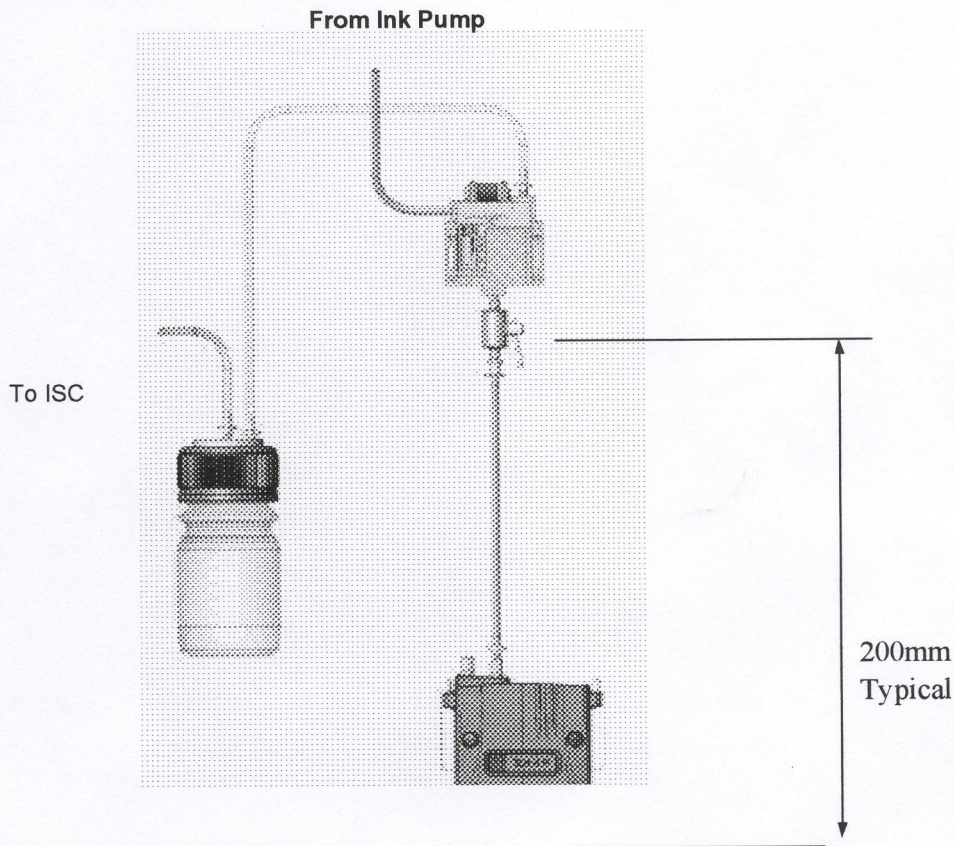


## 5. Installation Guide

The guide below takes the user through the recommended installation process. The ink supply system is intended for use with downwards firing print heads only.

### 5.1 Mounting of header tank

The Header Tank should be mounted above the print heads. Typically the distance between nozzle plate and bottom of header tank should be in the region of 200mm. It must be within the range of 150 to 350mm. The distance between nozzle plate and Header Tank should be fixed e.g. if the heads move up and down vertically the Header Tanks should move with the Print Heads

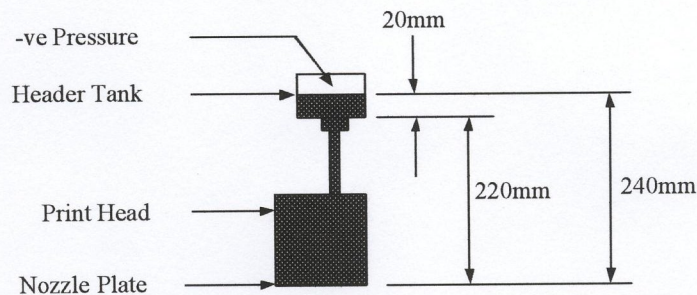


The Header Tanks can be mounted on a horizontal or vertical surface with M2.5 screws. Slots are provided in the base and rear of the Header Tank. (See section 4.1). If tanks are to be banked closely together it is better to mount onto a horizontal surface as this makes access to the fixing screws easier.



## 6.0 Determine the Correct Vacuum Pressure

Measure the distance between the nozzle plate and the Bottom of the Header Tank in mm. Add on 20mm. This is the positive head of ink.



### 6.1 Calculating Negative (vacuum) Pressure

The calculation below shows the theoretical method for calculating the negative pressure (in mBar) to be set in the ISC

In the above example there is a positive ink pressure of 240mm of ink.

To achieve a pressure of -40mm of ink at the nozzle plate the negative pressure in the Header Tank must be  $-240\text{mm} + (-40\text{mm}) = -280\text{mm}$  of ink

If the relative density of the ink is 0.9 this equals  $0.9 \times 280 = 252\text{mm}$  of water

To convert to mBar divide mm of water by 10 i.e.  $252/10 = 25.2\text{mbar}$

A negative pressure of 25mbar

#### 6.1.1 Quick method

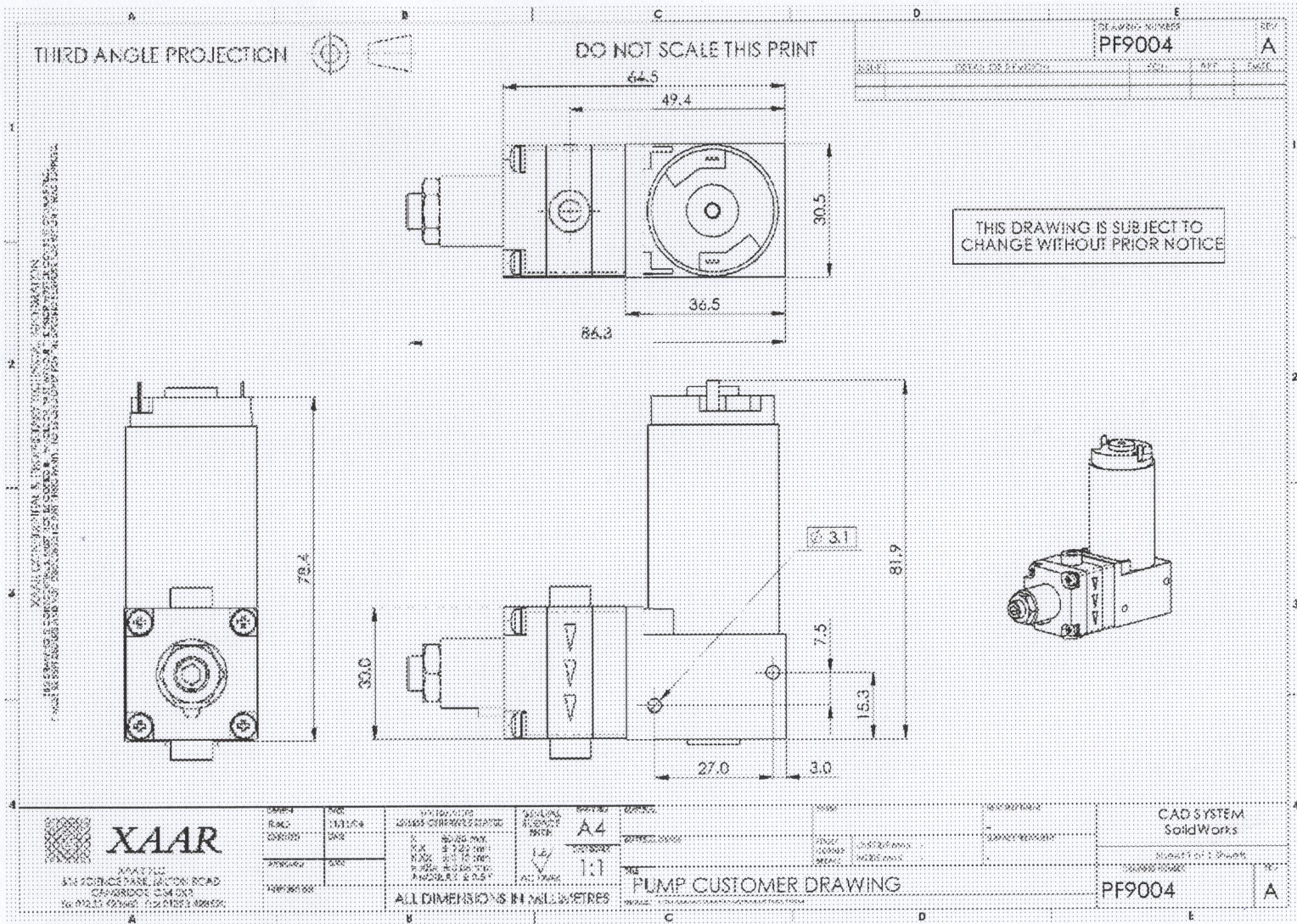
The calculation below shows a quick method for calculating the negative pressure (in mBar) to be set in the ISC

Measure the distance between the nozzle plate and bottom of Header Tank and add on 20mm. In this case  $(220+20) = 240\text{mm}$ . Divide this number by 10 i.e.  $240/10 = 24$ . Add on 2 i.e.  $24 + 2 = 26$   
This would be a good starting point for a quick set up.











THIRD ANGLE PROJECTION



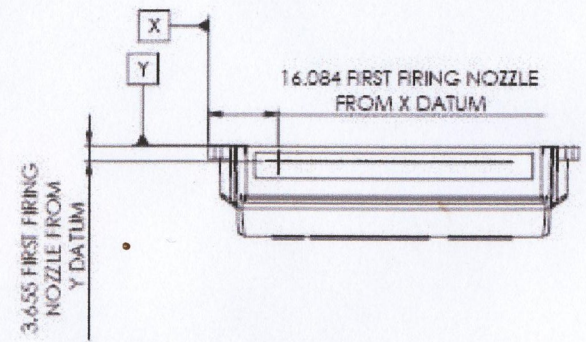
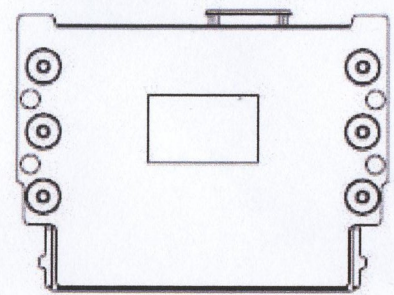
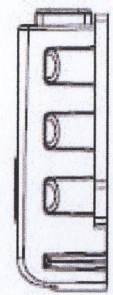
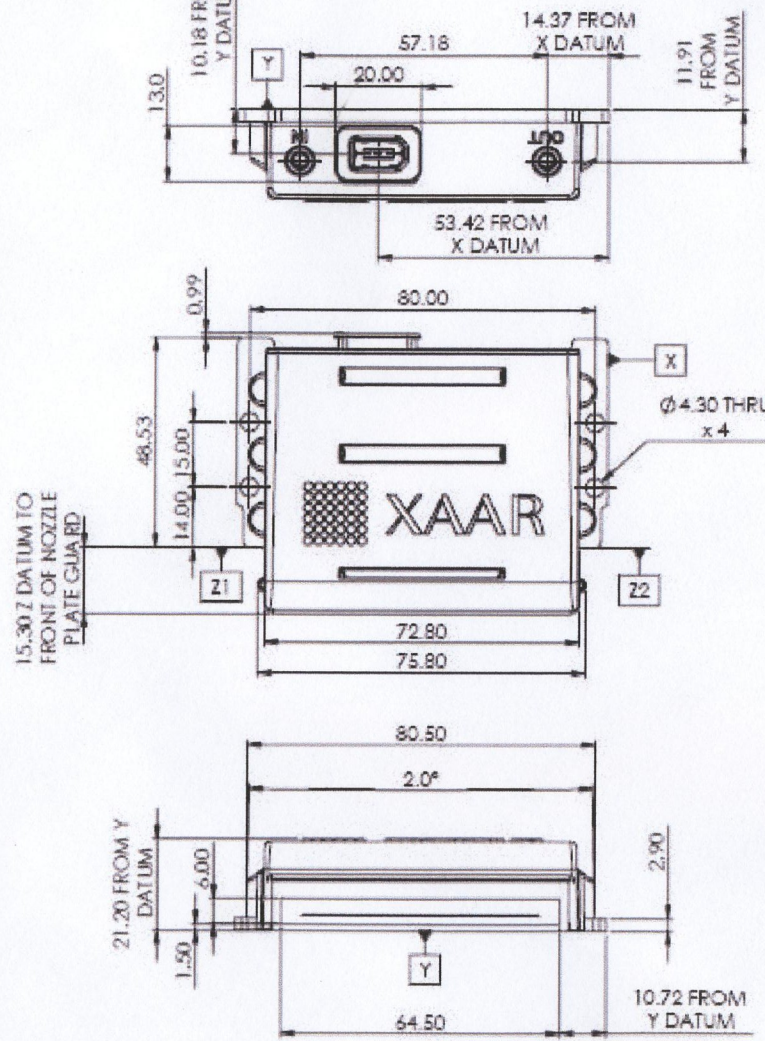
XAAR CONFIDENTIAL & PROPRIETARY TECHNICAL INFORMATION  
 THIS DRAWING IS CONFIDENTIAL AND NOT TO BE REPRODUCED, COPIED, OR ANY WISE USED IN ANY MANNER WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF XAAR INC.  
 IT IS THE PROPERTY OF XAAR INC. AND IS NOT TO BE LOANED, REPRODUCED, COPIED, OR IN ANY MANNER USED FOR ANY OTHER PURPOSE WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF XAAR INC.

DO NOT SCALE THIS PRINT

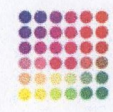
55055051

C

The details on this drawing were correct at time of going to press



		XAAR PUL 114 SCIENCE PARK MILTON ROAD CAMBRIDGE, CB4 0YS TEL: 01223 823662 FAX: 01223 422995	DATE: 02/07/2010 DRAWN BY: J. J. J. J. CHECKED BY: J. J. J. J. APPROVED BY: J. J. J. J. AUTHORITY: J. J. J. J.	A3 1:1	AS PER BOM 380 40PL	CAD SYSTEM SolidWorks Sheet 2 of 2 sheets 55055051 C
ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES						



XAAR®

Appendices



## APÉNDICE 4.2 ESPECIFICACIONES DEL CARTESIANO

Date: 24 March 2009  
 Quotation No.: Q9106-03  
 Subject: Yamaha industrial robot



To  
**Loughborough University**  
 Attention  
**Daniel Butina**  
 From  
**Dave Riley**

**CPR Automation**  
 Lovell  
 Lichfield Road Industrial Estate  
 Tamworth  
 Staffordshire Tel: +44 (0)1827 57475  
 B79 7TA Fax: +44 (0)1827 62354  
 England email: info@cprautomation.co.uk

Page 1 of 2

### Quotation for Yamaha robot

For full specification and dimensions please refer to the appropriate Yamaha brochure.

Item	Price
Quote ref: Q9106-03  <b>FLIP-x series single axis robot</b> Model No. T9-10-B-35-3L-SR1-X05-P-B Consisting of the single axis mechanical actuator with brake for use in vertical applications, controller and interconnecting power and signal cables set. Actuator, T9-10-B-35 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Axis movement 350mm</li> <li>• Payload 10kg at a maximum 140mm from the tool mounting face</li> </ul> Actuator weight approx 7kg  Controller, type SR1-X05-P-B <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 axis control</li> <li>• Absolute positioning system</li> <li>• Up to 100 programmes capacity</li> <li>• I/O type selectable at the time of ordering (see catalogue)</li> </ul> Controller weight approx. 6.5kg  Cable set length 3.5m	£4,167.00
<b>Optional equipment</b>	
Teach box, type HPB-D and 3.5m interconnect cable	£928.00
VIP support software, cable for PC and adaptor	£723.00

# T9

Standard Intermediate stroke

High lead : Lead 30

Origin at opposite of motor : Lead 10, 20, 30

## Robot ordering method

T9 - 20 - BK - 1050 - 3L - SR1-X - 05 - E<sup>Note 1</sup> - R<sup>Note 2</sup> - N - B<sup>Note 1</sup>

Model	Lead designation	Brake	Stroke	Cable length	Applicable controller	Driver	Usable for CE	Regenerative unit	Inputs/Outputs selection	Battery
	-30 : 30mm -20 : 20mm -10 : 10mm -5 : 5mm	No entry : No brakes BK : Brakes provided	150 to 1050 (50mm pitch)	-3L : 3.5m (Standard) -5L : 5m -10L : 10m	SR1-X -RDX	-05 : 100W or less -10 : 200W -20 : 400 to 600W	No entry : Standard E : CE specification	No entry : Standard R : RG1	N : NPN P : PNP CC : CC-Link DN : DeviceNet PB : Profibus YC : YC-Link <sup>Note 3</sup>	No entry : None (Incremental specification) B : Battery (Absolute specification)

Note 1 : It will be a customer's choice.

Note 2 : Optional regenerative unit is required for YAMAHA-designated models and when operating a load with a large inertia.

Note 3 : Available only for the slave.

## Basic specifications

AC servo motor output(W)	100			
Repeatability(mm) <sup>Note 1</sup>	±0.01			
Deceleration mechanism	Ball screw(Class C7)			
Ball screw lead(mm)	30	20	10	5
Maximum speed(mm/sec) <sup>Note 2</sup>	1800	1200	600	300
Maximum payload(kg)	Horizontal	15	30	55
	Vertical	—	4	10
Rated thrust(N)	Horizontal	52	78	156
	Vertical	—	—	—
Stroke(mm)	150 to 1050(50 pitch)			
Cable length(m)	3.5(Standard), 5, 10			
Controller	Horizontal	SR1-X-05		
	Vertical	SR1-X-05 <sup>Note 3</sup>		
Robot driver	Horizontal	RDX-05-RBR1		
	Vertical	RDX-05-RBR1		

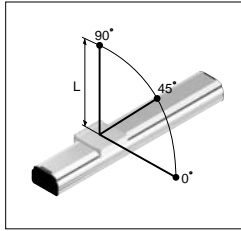
Note 1 : Repeatability for single oscillation.

Note 2 : When the stroke exceeds 700mm, although depending on the moving range, the ball screw may resonate (dangerous speed). If such resonance occurs, make an adjustment on the program to reduce the speed, using the maximum speed in the table on the right as a guide.

Note 3 : RG1 is required when the models used vertically and with 700mm or larger stroke.

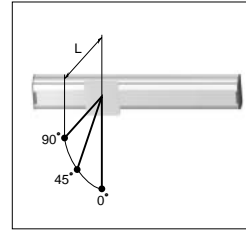
Stroke (mm)	Maximum speed (mm/sec)				Speed setting
	Lead 30	Lead 20	Lead 10	Lead 5	
750	1440	960	480	240	80%
850	1170	780	390	195	65%
950	900	600	300	150	50%
1050	810	540	270	135	45%

## Tolerable overhang amount<sup>Note</sup>



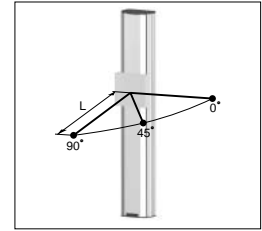
During horizontal use (Unit : mm)

Load	0°			45°			90°		
	5kg	15kg	30kg	5kg	15kg	30kg	5kg	15kg	30kg
Lead 30	311	127	77	290	141	102	442	274	183
Lead 20	391	139	77	454	169	102	796	366	236
Lead 10	100	46	31	130	61	42	364	225	144
Lead 5	39	31	20	55	43	29	345	304	215



During wall installation use (Unit : mm)

Load	0°			45°			90°		
	5kg	15kg	30kg	5kg	15kg	30kg	5kg	15kg	30kg
Lead 30	494	193	0	247	71	0	265	66	0
Lead 20	581	184	0	324	82	0	320	69	0
Lead 10	391	202	0	199	53	0	161	38	0
Lead 5	1176	420	0	237	58	0	172	41	0



During vertical use (Unit : mm)

Load	0°			45°			90°		
	1kg	2kg	4kg	1kg	2kg	4kg	1kg	2kg	4kg
Lead 20	1428	715	356	1010	505	252	1428	715	356
Lead 10	500	236	118	354	167	83	500	236	118
Lead 5	144	85	55	102	60	39	144	85	55

Note : Distance from center of slider top to center of gravity of object being transported.

**Effective stroke**

Approx. 250 (Motor cable length)

165±0.3: At the motor side origin (Note 2)  
165: At the reverse-side motor origin

115±0.1 (Note 1)

90

2-#6H7 Depth B

4-M6x1.0 Depth 18

94: At the motor side origin  
94±0.3: At the reverse-side motor origin

44±0.1 (Note 4)

82 (Between tracks ±0.02)

Approx. 250

145±0.1 (With brake) (Note 1)

195±0.3: At the motor side origin  
195: At the reverse-side motor origin

94

4-M5x0.8 Note 4  
(The same position on the opposite surface at two (2) locations)

50

20

1.0

98

95.5

30 (With brake)

L

60x(N-1)

A

165

B (Note 5)

60

195 (With brake)

21.1

13

22

N-M8x1.25  
B(S=1/1)

Grounding terminal

23

4.3

83.7

87.7

2.5

17.5

Note 1 : Length from both ends to mechanical stopper position.  
Note 2 : 167.5±0.4 when the high lead specification (Lead 30) is used.  
Note 3 : 94±0.4 when the high lead specification (Lead 30) is used.  
Note 4 : 41.5±0.1 when the high lead specification (Lead 30) is used.

Note 5 : No washer or the like should be used for the 11 counter bore when installing the main unit.  
Note 6 : The minimum bend radius of the motor cable is R50.  
Note 7 : This is the weight of the model without a brake. The weight of the model equipped with a brake is 0.5kg heavier than this value.

Note 8 : As the carriage is made of extracted aluminum, its width dimension may slightly differ from the value above.

Effective stroke	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050
L	409	459	509	559	609	659	709	759	809	859	909	959	1009	1059	1109	1159	1209	1259	1309
A	64	54	44	94	84	74	64	54	44	94	84	74	64	54	44	94	84	74	64
N	4	5	6	6	7	8	9	10	11	11	12	13	14	15	16	16	17	18	19
Weight(kg) (Note 7)	5.5	5.9	6.2	6.6	6.9	7.3	7.6	8.0	8.3	8.7	9.0	9.4	9.7	10.0	10.3	10.7	11.0	11.4	11.7

## APPENDIX I

---

# THE CONVEYOR

---

**Warning!** Do not connect this accessory to the driver cards for axes 1 to 6 in the SCORBOT-ER VII controller. Irreversible damage will occur.

The conveyor accessory allows the expansion of the robotic system in order to simulate an industrial work cell.

The conveyor accessory is particularly helpful in simulating and demonstrating the interrelation of industrial robots and conveyors. Its main applications are delivering and removing workpieces (to and from the robot) and identifying the arrival of a part to the work station. The conveyor is shown in Figure I-1.

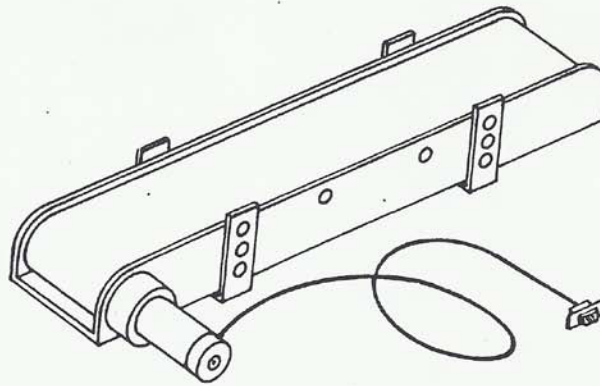


Figure I-1: The Conveyor

The conveyor is 810 mm long and 100 mm wide. Its metal base has a PVC belt driven by a motor kit with a gear ratio of 65.5 : 1 . Supports on each side enable assembly of the conveyor at various heights and angles (maximum of 5 degrees). A number of holes along the length of conveyor enable the attachment of proximity and optical sensors, which are used extensively in automation and industrial robotics.



The conveyor can be installed:

- As an additional servo axis, connected to one of axis terminals 7 through 11 on the controller (no alterations necessary).
- As an open loop device, using an external 12V source on the motor terminals.

# APÉNDICE 4.4 ESPECIFICACIONES DE LA CÁMARA COGNEX

## In-Sight Micro Specifications

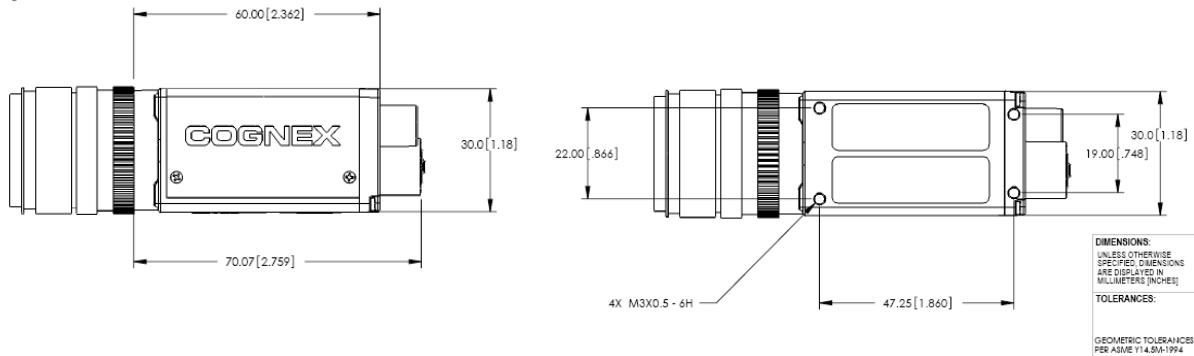
IMAGE	
Sensor	
Standard resolution models	1/3-inch CCD
High resolution models	1/1.8-inch CCD
Resolution (pixels)	
Standard resolution models	640x480 VGA
High resolution models	1600x1200 UVGA
Acquisition <sup>1</sup>	
Standard resolution models	42 full frames per second
High resolution models	13 full frames per second
Lens type	
	CS-mount and C-mount (with 5mm extension, included)
MINIMUM FIRMWARE REQUIREMENTS	
In-Sight version	Release 4.1
MEMORY	
Job/Program	64MB non-volatile flash memory
Ram/ Image Storage	128MB
I/O	
Trigger Input	One onboard opto-isolated, NPN/PNP, acquisition trigger input
Discrete Outputs	Two onboard opto-isolated, NPN/PNP, high speed outputs, 100mA Max
Expansion I/O	Eight Ethernet inputs, eight Ethernet outputs when connected to the CIO-WENET (750-341) Ethernet I/O expansion module
Status LEDs	Network, 2 user-configurable
NETWORK COMMUNICATIONS	
1 Ethernet port, 10/100 BaseT TCP/IP	
Standard Protocols	TCP/IP, SMTP, FTP, Telnet, DHCP (factory default) or static IP address
Fieldbus Protocols	PROFINET, Ethernet/IP, Modbus TCP
POWER	
Class	Class 2 (Power Over Ethernet) PoE device
Type	A or B accepted

MECHANICAL	
Material	Die-cast zinc housing and steel cover
Mounting	Four M3 threaded mounting holes or included 1/4"-20 mounting block
Dimensions	30mm (1.18in) W x 30mm (1.18in) H x 60mm (2.36in)D
Weight	145g (5.1oz.) with mounting block 120g (4.2oz.) without mounting block

ENVIRONMENTAL	
Operating Temp	0°C (32°F) to 45°C (113°F)
Storage temp.	-30°C (-22°F) to 80°C (176°F)
Humidity	90%, non-condensing
Protection	IP51
Shock	80G per IEC 68-2-27.
Vibration	10G from 10-2000 Hz. Vibration per IEC 68-2-6.

CERTIFICATIONS	
CE, FCC, TUV SUD NRTL, RoHS	

## In-Sight Micro Dimensions



## APÉNDICE 4.5 ESPECIFICACIONES TOUCHSCREEN VARTECH

Standard Technical Specifications:

LCD Monitor:

### **STANDARD VERSION:**

<b>Size / Type</b>	15.0" XGA TFT LCD
<b>Native Resolution</b>	1024 x 768
<b>Contrast Ratio</b>	600:1
<b>Viewing Angles</b>	Horizontal: 140° Vertical: 120°
<b>Pixel Pitch</b>	0.294mm
<b>Brightness (typical)</b>	250 cd/m <sup>2</sup>
<b>Response Time (typical)</b>	7ms
<b>Colors Supported:</b>	16.7 million

### **HIGH-BRIGHT VERSION:**

<b>Size / Type</b>	15.0" a-Si TFT LCD
<b>Native Resolution</b>	1024 x 768
<b>Contrast Ratio</b>	450:1 (contrast ratio >10:1)
<b>Viewing Angles</b>	Horizontal: 75° left & right Vertical: 75° upside, 55° downside
<b>Pixel Pitch</b>	0.297mm
<b>Brightness (typical)</b>	500 cd/m <sup>2</sup>
<b>Response Time (typical)</b>	25ms
<b>Colors Supported:</b>	16.7 million

## Computer System:

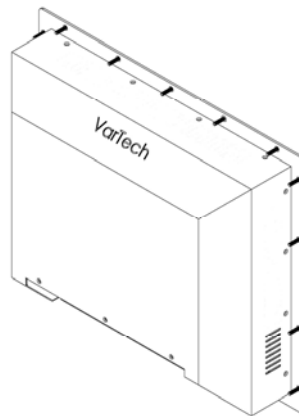
<b>Processor</b>	1.73GHz Intel T5300 Core 2 Duo Processor
<b>System Memory</b>	DDR2 533 DIMM 2 GB x 1 (expandable to 4GB)
<b>BIOS</b>	AMI BIOS
<b>Hard Drive</b>	120 GB SATA
<b>Operating System</b>	Microsoft XP Professional (SP3)
<b>Expansion Slots</b>	PCI x 1 (Optional) Mini PCI x 1
<b>Back Panel I/O Ports</b>	PS/2 Keyboard Connector x 1 PS/2 Mouse Connector x 1 AC Power Inlet x 1 (IEC320) RS-232 Port x 2 (x1 422/485 Optional) USB 2.0 Port x 6 (x4 on Stainless Steel Models) RJ45 LAN Port x 2 VGA Port x 1 DVI-D Port x 1 Audio Jacks: Line Out x 1 / Line In x 1
<b>Graphics</b>	Integrated Intel 945GME Graphics
<b>LAN</b>	Broadcom BCM5787M PCIe GbE controllers
<b>DVD Drive (E-IDE / ATAPI)</b>	DVD-R, DVD+R, DVD-RW, DVD+RW, DVD-R DL, DVD+R9 CD-R, CD-RW,
<b>Touch Screen</b>	Resistive
<b>Touch Screen Interface</b>	USB

<b>Power Input</b>	100-240 VAC 1.5A 50/60 Hz		
<b>Power Consumption</b>			
<b>Standard:</b>	42W		
<b>High-Bright:</b>	89W		
<b>Temperature</b>			
<b>Standard:</b>	Operational: 32°F to 140°F	0°C to 60°C	
	Storage: -40°F to 149°F	-40°C to 65°C	
<b>High-bright:</b>	Operational: 32°F to 140°F	0°C to 60°C	
	Storage: -4°F to 149°F	-20°C to 65°C	
<b>Humidity</b>			
<b>Standard:</b>	Operational: 0 to 90% RH NC		
	Storage: 0 to 95% RH NC		
<b>High-bright:</b>	Absolute: 95% max RH NC (ambient temp 0-40°C)		
	85% max RH NC (ambient temp > 40°C, up to 50°C)		
	55% max RH NC (Ta > 50°C)		

### Installation of Your Panel PC

Packaged with each carton will be:

- 1 - VTPC150P / PSS /PHB / PSSHB
- 1 - AC Power Cable
- 1 - #10-32 Mounting Hardware
- 1 - Users Guide (Printed or on CD)



**BEFORE MAKING ANY CONNECTIONS OR APPLYING POWER,  
FIRST READ THROUGH THE ENTIRE MANUAL**

# Panel Mount Procedure

## Panel Mounting Procedure:

1- Cut and drill the panel (refer to the panel mount drawing, Figure A). Measurements are provided in inches and millimeters.

## Panel Mounting Cutout:

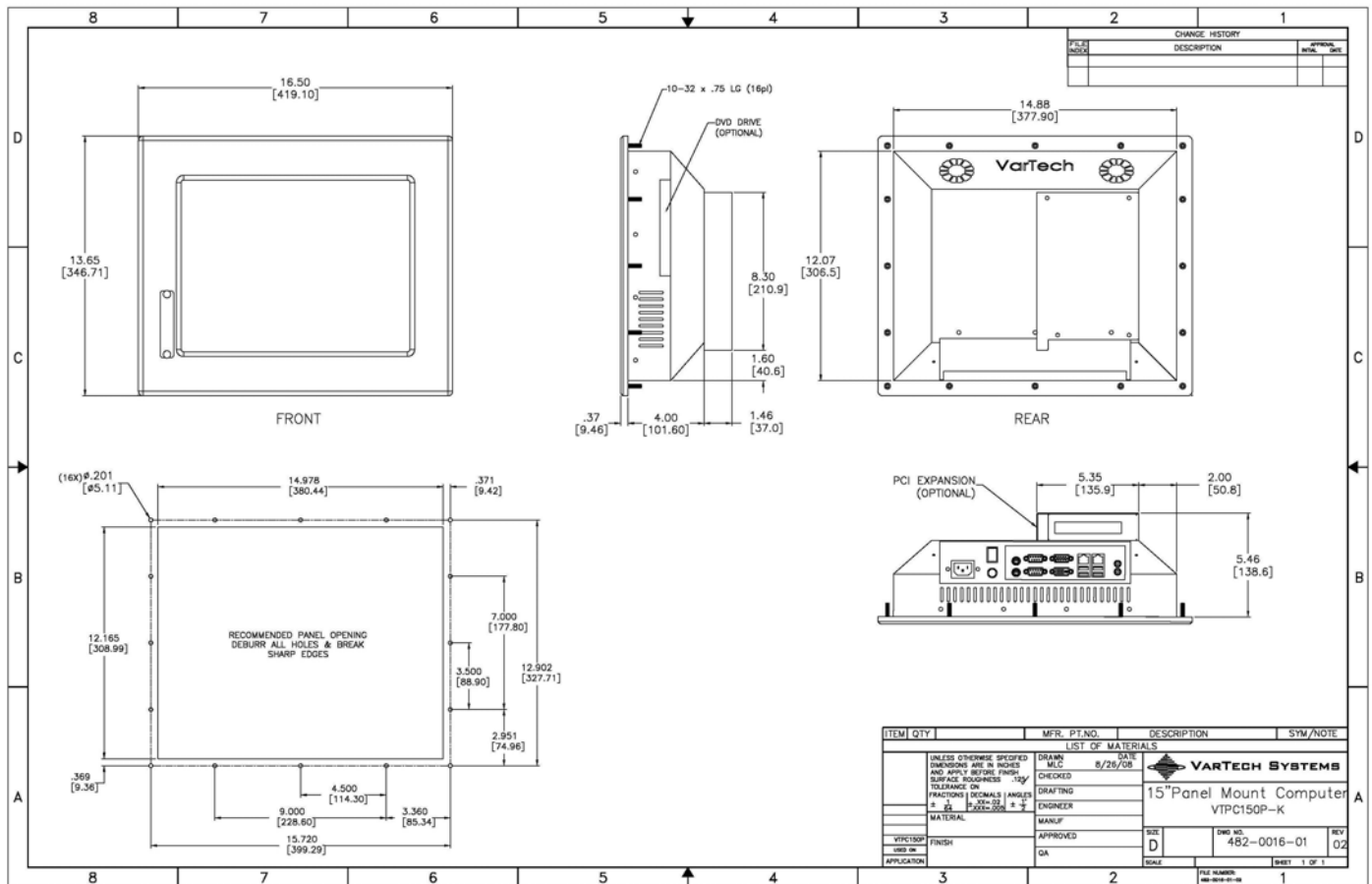
- 1- If access to the bottom of the enclosure is not available following installation, attach the power and all necessary cables to the bottom side of the enclosure at this time.
- 2- Install the enclosure in the prepared cutout.
- 3- Secure the enclosure using the lock nuts and washers, supplied with the unit, behind the holes running along the sides and the top and bottom of the cutout in the panel. Extra lock nuts and washers are provided.

**NOTE:** Use #10-32 nuts for mounting.

4- Tighten all mounting hardware to a torque of 24 inch-pounds.

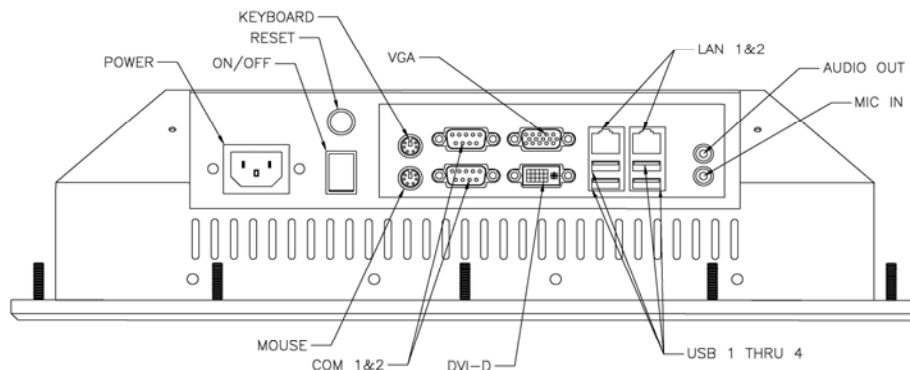
**ATTENTION:** Mounting nuts must be tightened to a torque of 24 inch-pounds to provide a proper panel seal and avoid potential damage. Vartech Systems assumes no responsibility for water or chemical damage to the monitor or other equipment within the enclosure due to improper installation.

5- Attach the power, video and system cables to the bottom side of the enclosure if you have not already done so.



Panel Mount Drawing: Detail -A-

## Connections to the Panel Mount PC



### Bottom Rear View - Connector Panel -

#### Power Connection (Power In)

The Panel Mount PC includes an AC line cord which is 6ft long. The power input receptacle is located on the bottom rear panel of the system.

#### Serial Connections (COM 1-2)

The Panel Mount PC is supplied with two serial connectors configured for RS-232. The connector is a 9 pin female connectors and can be set up for any baud rate from 300 to 19,200 baud. The connector is located on the bottom rear panel of the system.

#### Ethernet Connections (LAN 1-2)

The Panel Mount PC is supplied with two integrated Ethernet connectors. The interface will support 10/100/1000 BaseT connection to a local area network (LAN). The Panel Mount PC is supplied with two RJ-45 female connectors located on the bottom rear panel of the system.

#### USB Connections (USB 1-4)

The Panel Mount PC is supplied with four USB 2.0 connectors located on the bottom rear panel of the system.

#### VGA Port

The 15-pin female VGA connector can be used to connect to any analog VGA monitor.

#### DVI Port

DVI-D 1.0 support for external digital monitor.

## APÉNDICE 5.1 ANÁLISIS DE TIEMPOS

Para ilustrar el principio de funcionamiento, se analizará una versión simplificada del proceso real. Sin embargo, la misma metodología y principios teóricos son generalizables a todo el proceso.

Se considera una cabeza de impresión con 6 boquillas de radio "r", separadas entre ellas equitativamente por una distancia equivalente al diámetro de una boquilla. Considérese también un pozo de diámetro "D", de 2/3 del tamaño del cabezal. Ambos círculos aparecen representados en la figura 1. Nótese que el total de la longitud del cabezal equivale al doble de la suma de los diámetros de las boquillas.

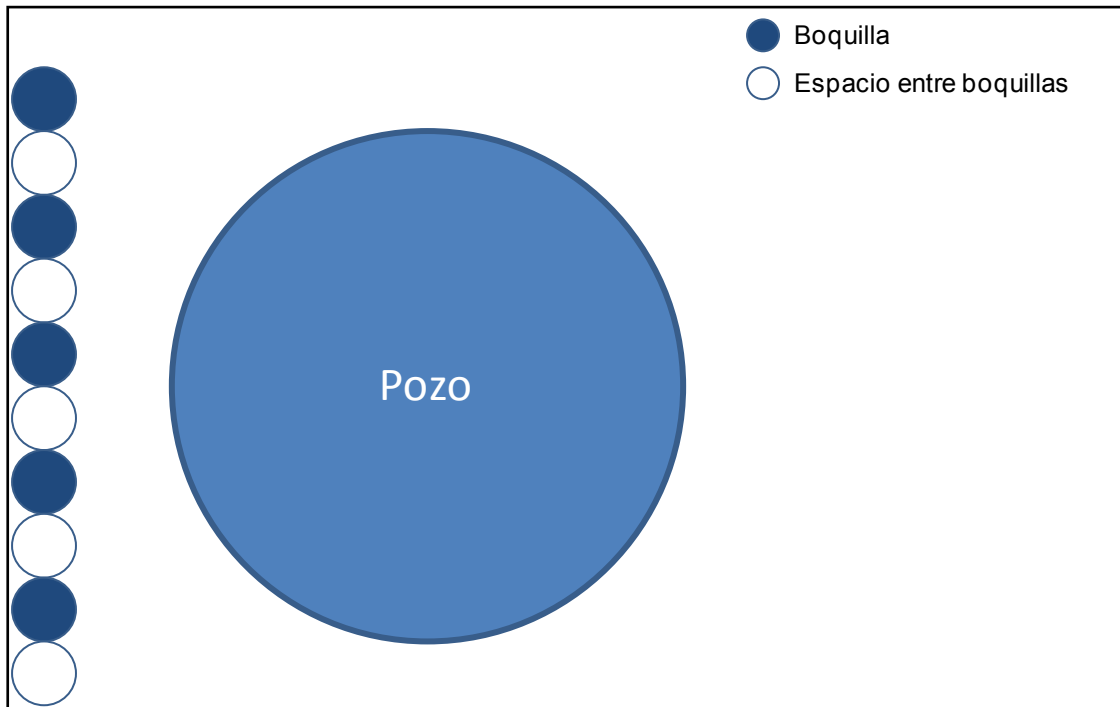


Figura 1. Boquillas y pozos

Si el pozo está centrado perfectamente con el cabezal, las dos boquillas del centro se desplazarán sobre el pozo al mismo tiempo, como se ilustra en la figura 2



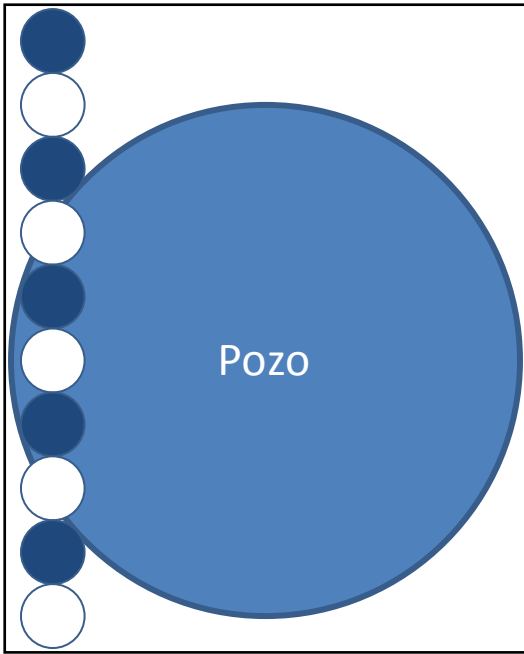


Figura 2. Las boquillas del centro se desplazan sobre el pozo simultáneamente

En este punto es seguro que estas dos boquillas comiencen a inyectar fluido al pozo. EL resto de las boquillas permanecen inactivas. También es posible trazar un círculo imaginario concéntrico al pozo y que pasa por el centro de las boquillas. Se llamará a este círculo "Región Activa" (Figura 3), y su diámetro es equivalente al diámetro del pozo menos dos veces el radio de la boquilla ( $D-2r$ ). Mientras el centro de cualquier boquilla esté dentro de la Región Activa, la boquilla puede inyectar fluido garantizando que éste caerá en el pozo.

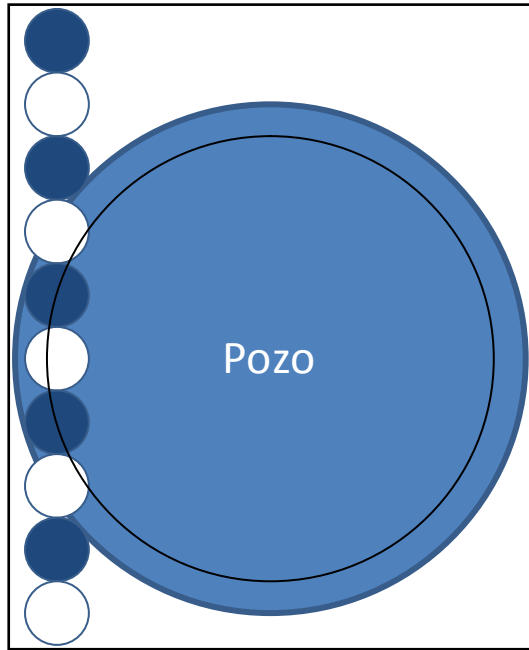


Figura 3. Región Activa

El siguiente par de boquillas comenzará a trabajar una vez que hayan entrado a la Región Activa (Figura 4).

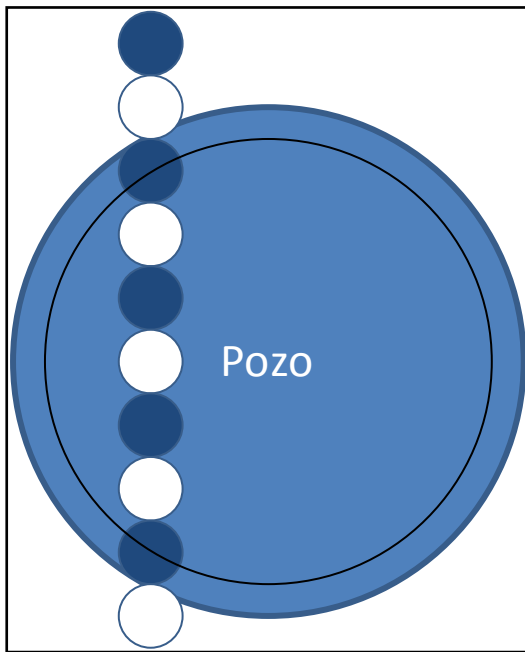


Figura 4. Los siguientes 2 pozos entran a la Región Activa

Finalmente, los cuatro pozos estarán activos hasta que lleguen a la mitad del pozo. Una vez cruzado ese punto, el comportamiento de las boquillas será simétrico al explicado anteriormente.

Para calcular el volumen de llenado como una función de la velocidad de la banda transportadora, se puede sumar el tiempo que cada boquilla se encuentra dentro de la Región Activa y multiplicarla por el gasto de una boquilla. Para este fin, se analizará el comportamiento de una cuarta parte del pozo. Una vez realizado el cálculo se multiplicará por cuatro para calcular el volumen final.

Se considera que el eje Y es paralelo a la sección longitudinal del cabezal, y que el eje X coincide con la dirección en que se mueve la banda transportadora y, por ende, el pozo. La Figura 4 ilustra esta situación.

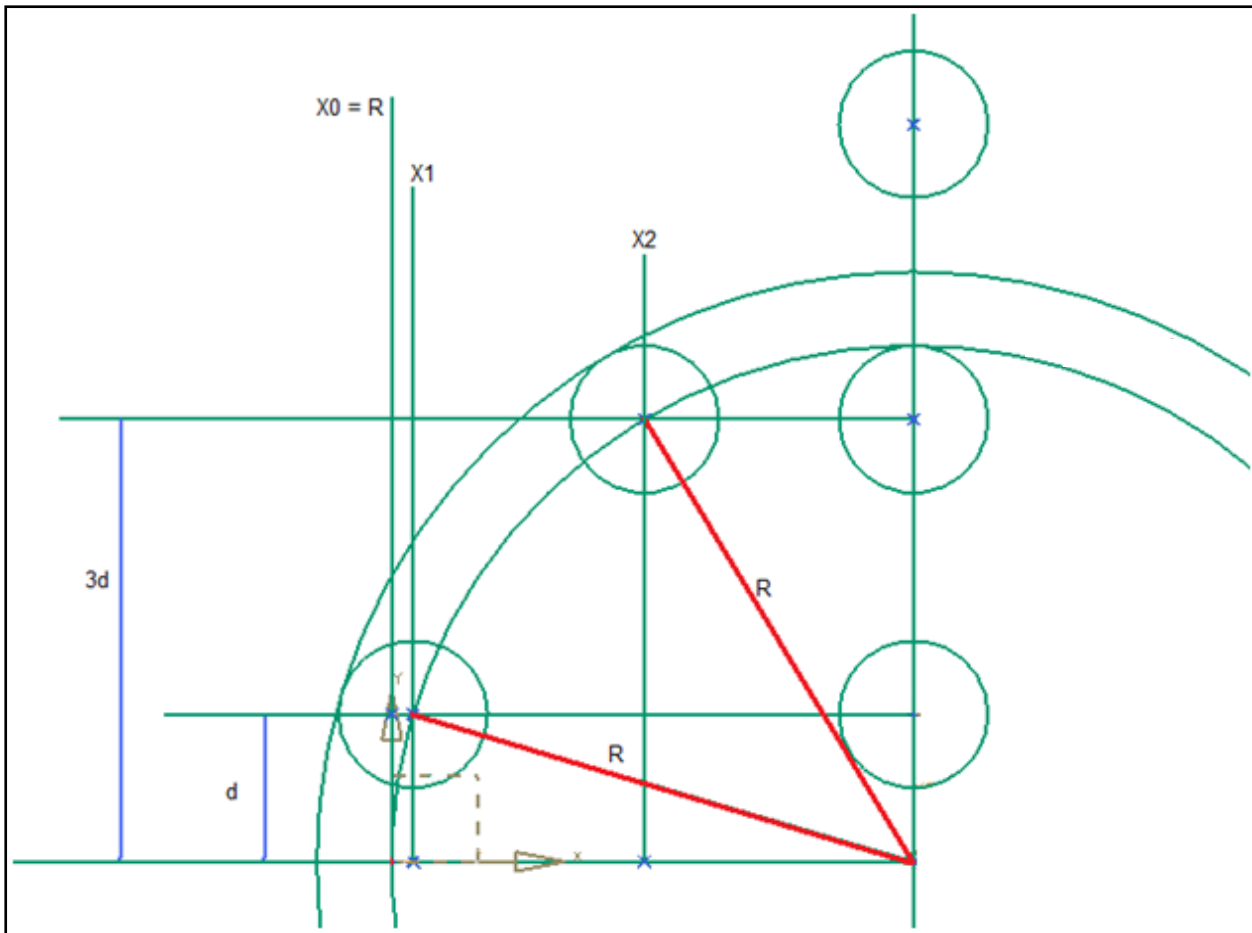


Figura 4. Referencia para el cálculo de boquillas activas

Para calcular  $X_1$  y  $X_2$ , se usa el Teorema de Pitágoras dos veces, primeramente para una altura de  $1d$  (para calcular  $X_1$ ) y después para una altura de  $3d$  (para calcular  $X_2$ ):

$$X_i = \sqrt{R^2 - ((2i - 1)d)^2}$$

Ya que el sistema de referencia se ubicó en  $X_0$ , Las distancias respectivas a ese punto pueden ser calculadas por la ecuación

$$\text{Distancia}_i = X_0 - X_i = R - X_i$$

Donde  $R$  es el radio de la Región Activa.

La diferencia entre distancias marca la el inicio de la actividad de cierto número de pozos (por ejemplo, para la distancia entre  $X_1$  y  $X_2$  sólo dos boquillas se encuentran activas (nótese que en el dibujo solamente se puede ver una boquilla activa porque sólo aparece ilustrada una cuarta parte del pozo).

Es posible calcular esta distancia mediante una resta:

$$\text{Diferencia}_i = X_{i+1} - X_i$$

La ecuación anterior no funciona para la última distancia, donde todas las boquillas que pueden entrar a la Región Activa se encuentran en operación. Para ese caso la distancia a la línea media del pozo puede ser calculada de la siguiente forma:

$$\text{Última Diferencia} = R - X_{\text{Final}}$$

En el ejemplo planteado  $X_{\text{Final}}$  es igual a  $X_2$ .

Si lavanda transportadora se mueve a una velocidad constante (S), podemos convertir estas diferencias en distancia en tiempos de operación dividiendo cada diferencia entre la magnitud de la velocidad:

$$\text{Diferencia}_i (\text{tiempo}) = \frac{\text{Diferencia}_i (\text{distancia})}{S}$$

Utilizando estas diferencias, se puede calcular el número de gotas por boquilla que pueden ser dispensadas por el cabezal al pozo, ya que la velocidad para dispensar fluido por boquilla es una variable conocida. Nótese que este número debe ser redondeado hacia abajo en caso de ser fraccionario, ya que no se pueden tener fracciones de gotas.

$$\text{Gotas}_i = \text{Redondear\_abajo}(\text{Diferencia}_i (\text{tiempo}) * \text{Velocidad para dispensar fluido por boquilla})$$

Ahora se multiplica el número de boquillas activas ( $2i$ ) por el número correspondiente de gotas y por el volumen de gota para calcular el volumen depositado en el pozo para cada intervalo.

$$\text{Volumen de llenado}_i = \text{Gotas}_i * 2i * \text{Volumen de Gota}$$

Finalmente, el volumen de llenado total se obtiene sumando cada uno de los volúmenes de llenado, pero ya que estos cálculos solo consideran la primera mitad del pozo, se multiplica esta número por dos para calcular el volumen real de llenado para todo el pozo.

$$\text{Volumen de llenado del pozo} = 2 * \sum_{i=1}^n \text{Volumen de llenado}_i$$

El tiempo requerido para llenar una microplaca de 96 pozos con  $30 \mu\text{L}/\text{pozo}$  de cada uno de los 8 distintos reactantes (Figura 5) puede ser calculado por la siguiente ecuación

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de llenado} &= \frac{\text{Longitud del cabezal} + \text{Longitud de la microplaca}}{\text{Velocidad de desplazamiento}} = \frac{0.218\text{m} + 0.1278\text{m}}{0.0115\text{m/s}} \\ &= 30.07 \text{ segundos/microplaca} \end{aligned}$$

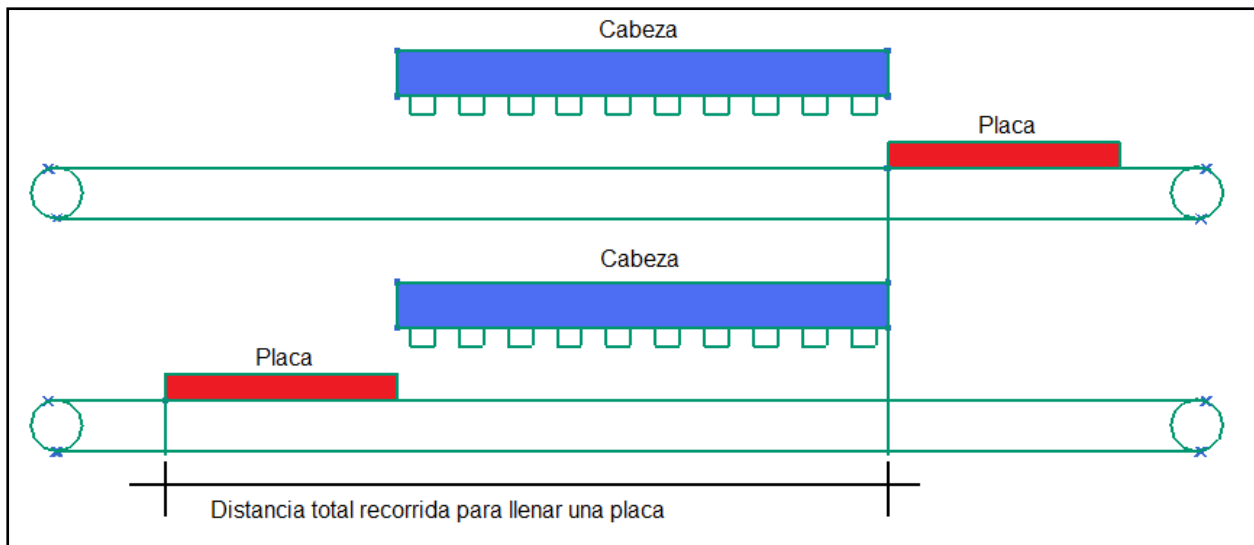


Figura 5. Recorrido para una microplaca

Sin embargo, este cálculo resulta engañoso, ya que más de una microplaca puede ser llenada simultáneamente por el cabezal. Para el caso en que se llenan dos microplacas (Figura 6), considerando una separación entre ellas de 7.24 mm el tiempo de llenado disminuye.

**Tiempo de llenado por microplaca**

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Longitud del cabezal} + 2 * \text{Longitud de la microplaca} + \text{separación}}{\text{Velocidad de desplazamiento} * 2\text{microplacas}} \\
 &= \frac{0.218 + 2(0.1278) + 0.0724}{2(0.0115)} = 23.74 \text{ segundos/microplaca}
 \end{aligned}$$

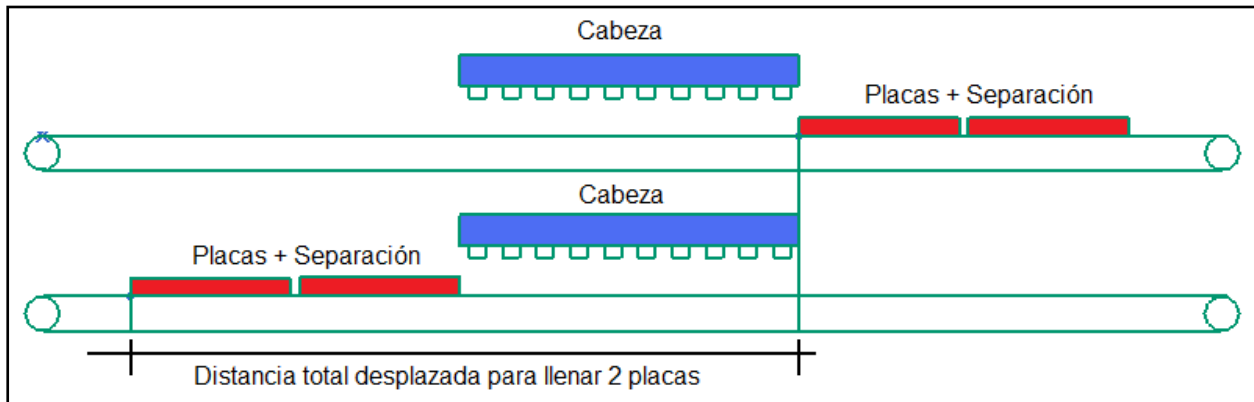


Figura 6. Recorrido para dos microplacas

El tiempo de llenado continúa decreciendo mientras el número de microplacas a llenar aumenta, de manera que para llenar N microplacas el tiempo de llenado puede calcularse mediante la siguiente expresión:

*Tiempo de llenado por microplaca*

$$= \frac{\text{Longitud del cabezal} + N * \text{Longitud de la microplaca} + (N - 1) * \text{separación}}{\text{Velocidad de desplazamiento} * N}$$

Por ejemplo, considere un proceso para llenar 100 microplacas, el tiempo de llenado por microplaca sería equivalente a

$$\begin{aligned} \text{T tiempo de llenado por microplaca} &= \frac{0.218 + 100(0.1278) + (100 - 1) * 0.0724}{100(0.0115)} \\ &= 17.54 \text{ segundos/microplaca} \end{aligned}$$

A partir de estos ejemplos, es evidente que el tiempo de llenado por microplaca disminuye mientras el número de microplacas aumenta. Afortunadamente, este comportamiento es consistente con la necesidad de un menor tiempo de llenado mientras más microplacas se requieran llenar.

Cuando N tiende a infinito, alcanzamos el límite del tiempo de llenado. Este límite puede ser calculado de la siguiente manera:

Tiempo de llenado por microplaca

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Long.del cabezal} + \infty * \text{Long.microplaca} + (\infty - 1) * \text{Separación}}{\text{Velocidad de desplazamiento} * \infty} = \frac{\text{Long.del cabezal}}{\text{Velocidad} * \infty} + \frac{\infty * \text{Long.microplaca}}{\text{Velocidad} * \infty} + \\ &\frac{(\infty - 1) * \text{Separación}}{\text{Velocidad} * \infty} = \frac{\text{Long.microplaca}}{\text{Velocidad}} + \frac{\text{Separación}}{\text{Velocidad}} = \frac{\text{Long.microplaca} + \text{Separación}}{\text{Velocidad}} = \frac{0.1278 + 0.0724}{0.0115} = \\ &17.40 \text{ segundos/microplaca} \end{aligned}$$

Comparando el valor para 100 microplacas y el valor cuando N tiende a infinito, es aceptable decir que para grandes volúmenes de microplacas, la máquina opera a un tiempo de llenado de microplaca cercano a su óptimo.

Una última consideración en relación a la distancia que las microplacas deben recorrer entre un extremo y otro de la banda transportadora o los sistemas de almacenamiento de placas es pertinente mencionar que al sincronizar la alimentación de las microplacas a la banda el tiempo de cada ciclo es virtualmente idéntico al tiempo de llenado. Solamente una modificación menor a la fórmula original es requerida para compensar las distancias entre el cabezal y el resto del recorrido hacia otros sistemas (*offsets*):

$$\text{T tiempo por ciclo} = \frac{(\text{Long.cabezal} + \text{Offsets}) + N * \text{Long.microplaca} + (N - 1) * \text{Separación}}{\text{Velocidad de desplazamiento} * N}$$

Nótese que nuevamente cuando N tiende a infinito, el término que contiene los *offsets* es despreciable.

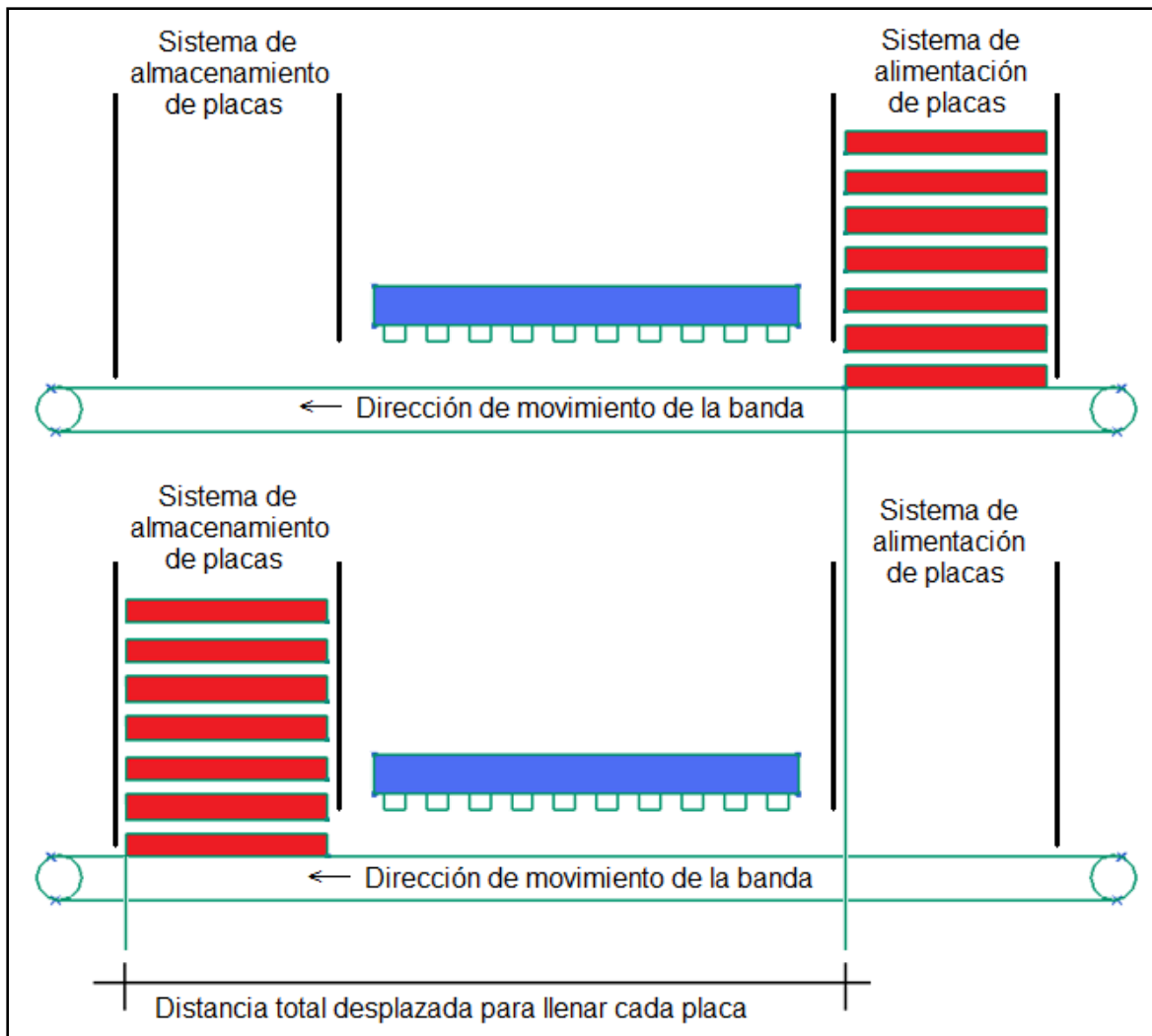


Figura 7: Desplazamiento de las placas entre sistemas de alimentación y almacenamiento

Estrictamente, se podría incluir el tiempo requerido para ajustar el eje Z (altura del cabezal), aunque esta demora únicamente sucede una vez por cada conjunto de microplacas asumiendo que todas las microplacas de un conjunto son de la misma altura.

## APÉNDICE 5.2 ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO PARA DEFORMACIÓN DE CABEZAL

El peso del cabezal se calculó de la siguiente manera:

El peso de la estructura de soporte se calculo a través de un estimado de su volumen, multiplicado por la densidad del acero común para ingeniería.

Cada una de los cuerpos ilustrados en la Figura 1 es aproximado a una figura cuboide. Los volúmenes 1, 2, 3 y 4 son sumados y multiplicados por dos. Este número fue sumado al volumen 5.

El volumen total de la estructura de soporte es de aproximadamente  $0.144 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ . La densidad del acero es de  $7850 \text{ kg/m}^3$ , de manera que el peso de la estructura es de  $\approx 1.14 \text{ kg}$

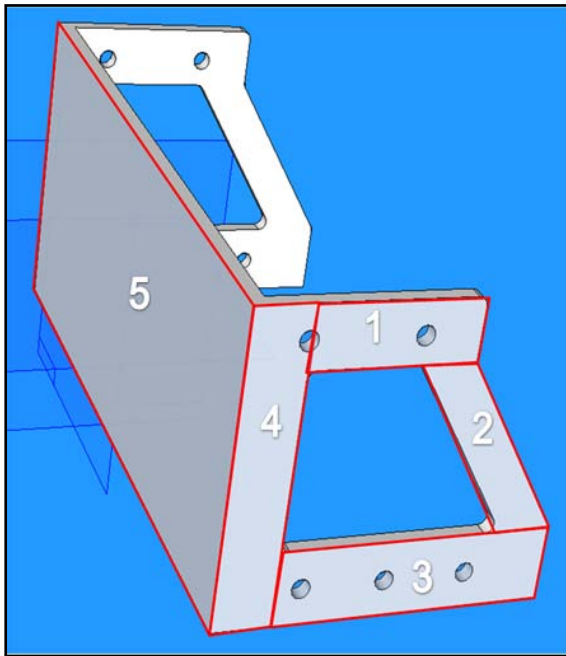


Figura 1: Aproximación de la masa de la estructura de soporte del cabezal

El Segundo factor que requiere de un cálculo es la masa del líquido dentro de los tanques de cada contenedor. La capacidad de los tanques es conocida, y para propósitos de este ejercicio se asume que el fluido a emplear es agua. La Figura 2 muestra la masa total del cabezal desglosado en todos los componentes considerados. Se estima que el peso total con los tanques llenos (inicio del ciclo de trabajo) es de 3.77 kg.



Componente	Masa(kg)	Cantidad	Total
Masa de la cabeza de impresión	0.29	8	2.32
Masa del líquido en la cabeza	N/A	N/A	N/A
Masa del tanque	0.012	8	0.096
Masa del líquido en el tanque	0.028	8	0.224
Masa de la estructura de soporte	1.13	1	1.13
<b>Masa total</b>			<b>3.77</b>
<b>Masa total +20%</b>			<b>4.524</b>

Figura 2: Desglose de componentes para cálculo de masa del cabezal

La ubicación del cabezal es una parte crítica para el llenado de la microplaca, ya que cada boquilla necesita activarse exactamente cuando el pozo esté ubicado en la posición correcta. Debido a que las boquillas son tan pequeñas y debido a la alta densidad de boquillas en la cabeza de impresión; la deflexión en la estructura de soporte podría ocasionar que las gotas de reactante no se depositaran correctamente en el pozo.

La Figura 3 muestra la posición de la cabeza de impresión sobre el pozo. “X” representa la distancia entre las boquillas del cabezal, “ $L_T$ ” representa la distancia de la trayectoria de las gotas; en este caso se considera la distancia entre las boquillas y la superficie del pozo. Consideramos que el valor máximo para esta métrica será de 5 mm.

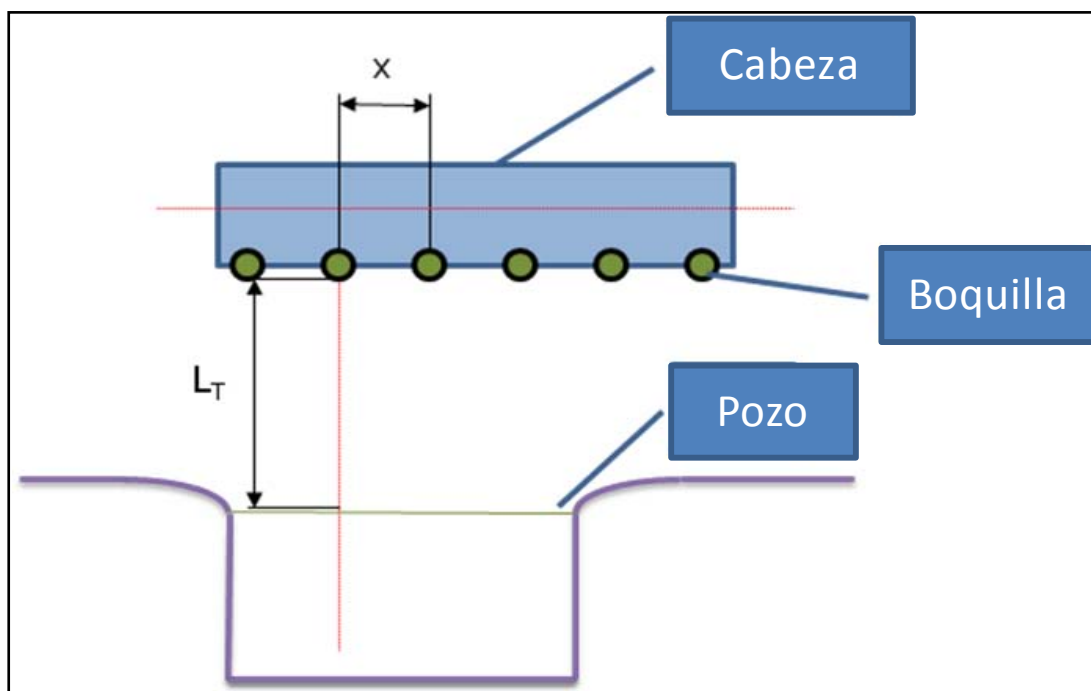


Figura 3: Cabezal en posición

Si la estructura de soporte sufriera una deflexión debido al peso se modificaría la trayectoria de las gotas del cabezal como se muestra en la Figura 4. “ $\delta$ ” es la deflexión de la estructura a una distancia “ $L_B$ ” a partir del robot cartesiano que soporta la estructura. “ $L_E$ ” es la distancia que la gota se ha desplazado de la trayectoria original debido a la deflexión de la estructura. Si la trayectoria es afectada de manera que  $L_E = X$  entonces la boquilla estará depositando la gota en la posición donde la boquilla adyacente debería estarla depositando. Si esto ocurriera la desviación ocasionaría una pérdida significativa de precisión y una posible contaminación de pozos contiguos.

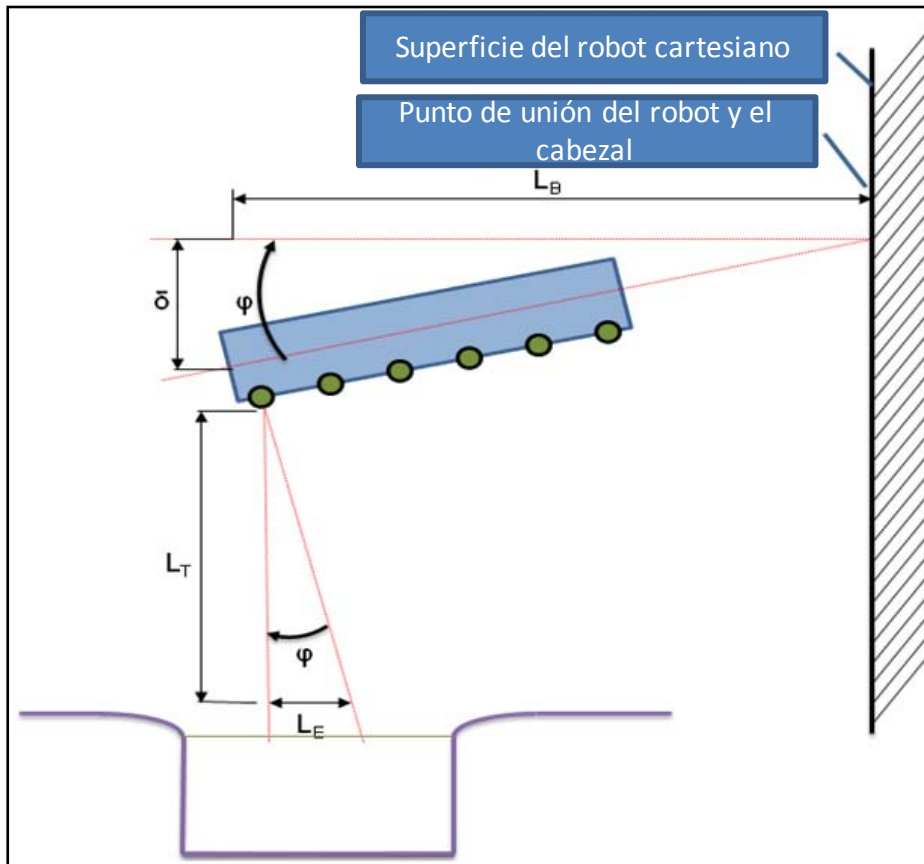


Figura 4: Cabezal con deflexión

El ángulo  $\varphi$  puede calcularse por trigonometría, tal que

$$\tan \varphi = \frac{\delta}{L_B}$$

Así que  $\varphi$  se expresa como

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{\delta}{L_B}$$

De manera similar podemos calcular el valor de  $L_E$

$$L_E = L_T \tan \varphi$$

Para determinar la deflexión de la estructura se utilizó un análisis de elemento finito, modelado en la paquetería MSc Patran.

Asumiendo que los tanques de los cabezales están llenos, la masa máxima del cabezal es de 3.77 kg; como se ilustra en la Figura 2 de este anexo. Utilizamos un margen de seguridad de 20% por lo que los cálculos realizados para el análisis de elemento finito consideran una masa de 4.5 Kg.

Considerando un valor para la aceleración de la gravedad es de  $10 \text{ m/s}^2$ , la carga total es de 45 N. La estructura de soporte tiene 5 perforaciones en cada lado que soportan el peso. El modelo de la Figura 5 asume que el peso se distribuye de manera equitativa entre las 5 perforaciones. El modelo también asume que el robot cartesiano al que el cabezal está adherido no presenta deflexión alguna.

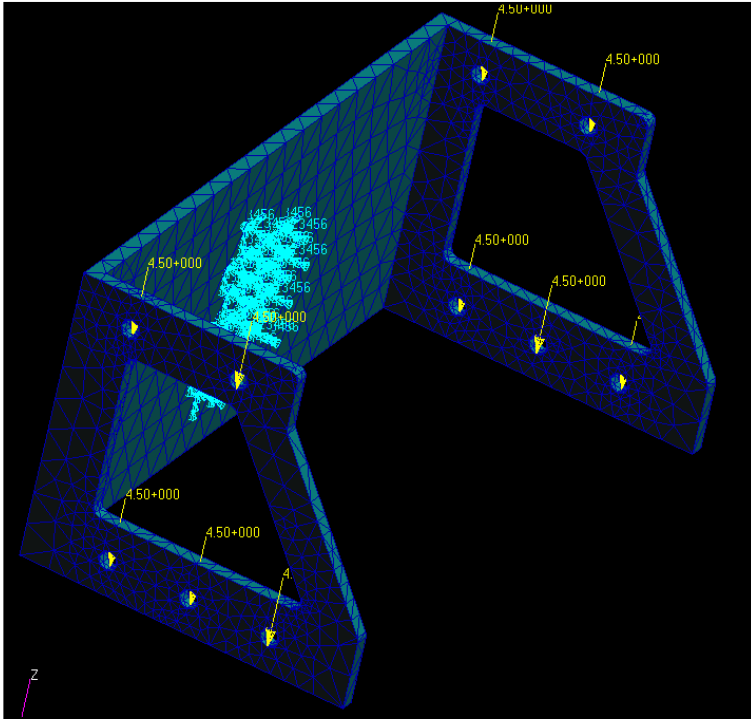


Figura 5: Representación de modelo de elemento finito para el cabezal

La parte marcada en color cyan de la Figura 5 representa el área en el que el robot cartesiano y la estructura de soporte están adheridas. Estos puntos se consideran rígidos. Las flechas representan la fuerza distribuida del peso total del cabezal. Los resultados del análisis se muestran en la Figura 6.

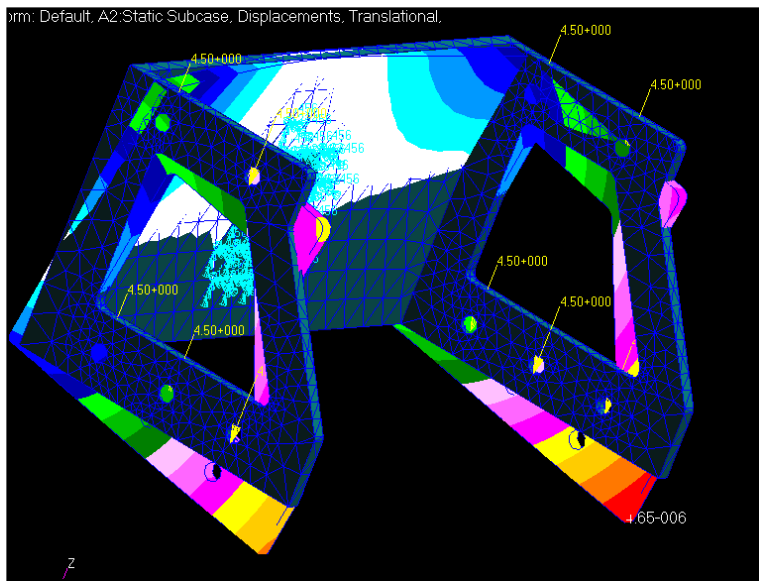


Figura 6: Simulación de la deflexión del cabezal.

La deflexión al final del cabezal obtenida como resultado del análisis fue de  $4.65\mu\text{m}$ . Usando las ecuaciones descritas anteriormente para calcular la desviación de las gotas,

$$L_E = L_T \tan \left( \tan^{-1} \left( \frac{\delta}{L_B} \right) \right)$$

$$L_E = 0.005 \times \tan \left( \tan^{-1} \left( \frac{4.65 \times 10^{-6}}{0.1} \right) \right)$$

$$L_E = 2.325 \times 10^{-8}$$

Por lo tanto, asumiendo que el diámetro de las boquillas es despreciable,  $X = 6.9 \times 10^{-5}$ . Esta deflexión no es suficientemente significativa para afectar la precisión de la máquina.

# Bibliografía

<http://www.labmanager.com/articles.asp?ID=458>

<http://www.sbsonline.com/msdc/pdf/>

[http://labautopedia.com/mw/index.php/Early\\_microplate\\_automation](http://labautopedia.com/mw/index.php/Early_microplate_automation)

[http://www.ddw-online.com/enabling\\_technologies/302363/the\\_microplate\\_market\\_past\\_present\\_and\\_future.html](http://www.ddw-online.com/enabling_technologies/302363/the_microplate_market_past_present_and_future.html)

Ulrich K, Eppinger T, Steven D. Product design and development. - Boston : Irwin McGraw-Hill, 2003.

<http://microarrays.ifc.unam.mx/>

<sup>i</sup> <http://www.labmanager.com/articles.asp?ID=458>

<sup>ii</sup> <http://www.sbsonline.com/msdc/pdf/>

<sup>iii</sup> [http://labautopedia.com/mw/index.php/Early\\_microplate\\_automation](http://labautopedia.com/mw/index.php/Early_microplate_automation)

<sup>iv</sup> [http://www.ddw-online.com/enabling\\_technologies/302363/the\\_microplate\\_market\\_past\\_present\\_and\\_future.html](http://www.ddw-online.com/enabling_technologies/302363/the_microplate_market_past_present_and_future.html)

<sup>v</sup> <http://microarrays.ifc.unam.mx/>