

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Máster de Ingeniería Mecánica y Materiales



Trabajo de Investigación del Máster

TÉCNICAS DE MANIPULACIÓN HORTOFRUTÍCOLA ROBOTIZADA EN PROCESOS PICK & PLACE

Realizado por: Carlos Blanes Campos

Dirigido por: Vicente Mata Amela y Martín Mellado Arteché

Valencia, Octubre 2009



ÍNDICE

RESUMEN	III
RESUM	V
ABSTRACT	VII
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Contexto	1
1.2. Objetivos	6
Capítulo 2. Manipulación	7
Capítulo 3. Técnicas de manipulación	12
3.1. Clasificación general	12
3.2. Aire	15
3.3. Fuerzas de contacto	23
3.3. Penetración en objeto	39
3.4. Unión química	41
3.5. Magnetismo	43
3.6. Carga eléctrica	44
3.7. Fluido	44
3.8. Propiedades físicas del objeto	47
3.9. Levitación	53
Capítulo 4. Diseño de garras para robots en Pick & Place hortofrutícola	55
4.1. Situación actual en el diseño de garras	55
4.2. Diseño de garras en Pick & Place hortofrutícola	58
4.3. Diseño garra Pick & Place para pepino holandés	97
Capítulo 5. Conclusiones	130
5.1. Futuras acciones	133
Referencias	135



Técnicas de Manipulación Hortofrutícola Robotizada
en Procesos Pick & Place





RESUMEN

El presente Trabajo de Investigación versa sobre las Técnicas de Manipulación Hortofrutícola Robotizada para Procesos *Pick & Place*.

Comienza con el un desarrollo del concepto de manipulación para proseguir con una revisión del estado del arte de las técnicas de manipulación con especial hincapié en aquellos procesos utilizados en robótica. Para cada una estas técnicas presentadas se analizan las posibilidades para el empleo en procesos *Pick & Place* con productos hortofrutícolas.

Tras una revisión de las técnicas de manipulación robotizada se buscan metodologías de diseño de garras para robots. Estas técnicas se centran en la manipulación de productos rígidos por lo que son adaptadas a las particularidades del diseño de garras para *Pick & Place* de los productos hortofrutícolas.

Para concluir se realiza un ejercicio de diseño de garra para el caso del pepino holandés (*Cucumis sativus*) empleando diversas tecnologías de simulación por ordenador existentes en el mercado; escaneado 3D, CAD 3D, MEF, simulación cinemática y dinámica de mecanismos y análisis dinámico de circuitos neumáticos.



Técnicas de Manipulación Hortofrutícola Robotizada
en Procesos Pick & Place





RESUM

El present Treball d'Investigació versa sobre les Tècniques de Manipulació Hortofrutícola Robotitzada per a Processos *Pick & Place*.

Comença amb un desenvolupament del concepte de manipulació per a prosseguir amb una revisió de l'estat de l'art de les tècniques de manipulació amb especial atenció en aquells processos utilitzats en robòtica. Per a cada una d'aquestes tècniques s'analitzen les possibilitats per a l'ús en processos *Pick & Place* amb productes hortofrutícoles.

Després d'una revisió de les tècniques de manipulació robotitzada es busquen metodologies de disseny d'urpes per a robots. Estes tècniques se centren en la manipulació de productes rígids pel que són adaptades a les particularitats del disseny d'urpes per a *Pick & Place* dels productes hortofrutícoles.

Per a concloure es realitza un exercici de disseny d'urpa per al cas del cogombre holandés (*Cucumis sativus*) emprant diverses tecnologies de simulació per ordinador existents en el mercat; escanejat 3D, CAD 3D, MEF, simulació cinemàtica i dinàmica de mecanismes i anàlisi dinàmica de circuits pneumàtics.



Técnicas de Manipulación Hortofrutícola Robotizada
en Procesos Pick & Place





ABSTRACT

This Research Project concerns about Robotic *Pick & Place* Handling Techniques for Fruit & Vegetables.

It started developing a handling concept review following by a state of the art in handling techniques focusing on those used with robots. For each one of those techniques there is an analysis of points affected by Fruit & Vegetables *Pick & Place* robotic handling.

After that, there is a gripper design exercise for cucumbers (*Cucumis sativus*) robotic *Pick & Place*. During design process it has been necessary to use a lot of software technologies; 3D scanner, CAD 3D, Finite Element Method, cinematic and dynamic mechanism software and dynamic analysis of pneumatic circuits.

Capítulo 1. Introducción

1.1. Contexto

Esta tesina de máster se engloba dentro del proyecto de investigación y desarrollo firmado con la empresa **ULMA Packaging Technological Center** que participa, como empresa miembro del consorcio, en el desarrollo del **Proyecto CENIT** titulado *Multiplicación de Esfuerzos para el Desarrollo, Innovación, Optimización y Diseño de Invernaderos Avanzados (MEDIODÍA)*, liderado por **REPSOL YPF**. Dentro de sus objetivos en dicho proyecto, la empresa tiene encargada el desarrollo de sistemas de manipulación robotizada para envasado.

Para cubrir este objetivo ha firmado con el **Instituto de Automática e Informática Industrial (ai2)** de la **Universidad Politécnica de Valencia**, un contrato para la ejecución del proyecto de investigación y desarrollo titulado *Sistemas de Manipulación Robotizada para Envasado de Productos Hortofrutícolas*.

Para satisfacer la demanda de este proyecto el Instituto Universitario ai2 cuenta con un equipo de trabajo formado por:

- Martín Mellado Arteché, Profesor Titular de Universidad, Doctor
 - Dedicación a tiempo parcial.
- Ángel Valera Fernández, Profesor Titular de Universidad, Doctor
 - Dedicación a tiempo parcial.
- Antonio Sánchez Salmeron, Profesor Titular de Universidad, Doctor
 - Dedicación a tiempo parcial.
- Carlos Ricolfe Viala, Profesor Colaborador, Doctor
 - Dedicación a tiempo parcial.
- Carlos Blanes Campos, Ingeniero Industrial
 - Dedicación a tiempo completo.

Esta tesina se incluye dentro del proyecto como un apartado en búsqueda de soluciones a la manipulación hortofrutícola con robots en operaciones *Pick & Place*.

En el 2004 la Unión Europea [1] facturó 815.000 millones de euros en el sector de alimentación y bebidas, con un incremento del 2% respecto al año anterior. Dio

empleo a 3.9 millones de personas, un 5% menos respecto al anterior periodo. Los altos costes laborales respecto a países menos desarrollados hace necesario mejorar la productividad para poder competir en el sector.

Actualmente existen en el mercado una gran diversidad de productos manipulados por robots, estos aportan notables ventajas en coste, repetitividad y fiabilidad. La robótica se ha centrado en la manipulación de productos rígidos. Recientemente ha comenzado a ampliar las posibilidades de uso en productos flexibles, sectores como el cárnico, bollería, o pescado la presencia de robots en operaciones *Pick & Place* es notable y con una alta tasa de crecimiento. El sector hortofrutícola no ha experimentado el mismo avance en la implantación de la robótica como otros sectores. La robótica puede en este caso:

- **AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD.** Los robots actuales son capaces de empaquetar o distribuir productos de bollería de forma más suave y rápida que nunca. Los actuales programas permiten optimizar el proceso para lograr la más alta producción ya sea para empaquetado o para colocación en bandejas o *Pick & Place*.

Otra de las posibilidades es la organización previa de productos para el empaquetado o la alimentación de la línea. Los productos se suministran desde calibradores de forma aleatoria y deben ser organizados. Los sistemas de visión logran dar la entrada correcta en posición y orientación para que el robot logre el objetivo final de posicionar los productos y discriminarlos en función de la cantidad de producto y/o aspecto que tienen. Este mismo sistema constituye un método de control de la calidad, descartando aquellos que no cumplen los requisitos y generando información específica sobre diversos ratios de medida. Los robots también permiten colocar y organizar los productos en los recipientes finales.

- **MÁS INFORMACIÓN.** No se puede corregir lo que no se puede medir. La información debe llegar a través de sistemas automáticos que permitan gestionar los datos de planta de forma precisa pues la toma de decisiones tendrá un gran impacto en la línea de producción. Este sistema de seguimiento de información también permite deducir donde ocurrirán los problemas de mantenimiento o si el producto se pierde o daña.

Antes de este proceso de automatización la gestión de la información de planta era una tarea casi imposible de controlar con precisión. Con la

automatización todos los procesos pueden ser grabados y seguidos. Este sistema de automatización de la información proporciona notables reducciones de productos extraviados. La gestión logística final puede ser gestionada de forma más precisa.

Los integradores de este tipo de instalación precisan, para su correcto funcionamiento, un dimensionado correcto de la red usada en la planta para lograr un flujo de información fluido en el que la gestión de la empresa pueda centrarse en los problemas mejorando la eficiencia, lo cual permite optimizar el proceso y reducir costes. Desde el punto de vista de la seguridad alimentaria y las reclamaciones de cliente el seguimiento automatizado de la información es un sistema importante a tener en cuenta.

- **MAYOR FLEXIBILIDAD.** El sector alimentario precisa altas velocidades de manufactura. Los problemas sanitarios de manipulación alimentaria tienen requisitos específicos de la instalación. Las formas irregulares del producto precisan de un sistema de agarre flexible capaz de adaptarse a un rango de tamaños y formas. Al mismo tiempo, los productos son muy delicados por lo que su manipulación a altas velocidades es especialmente crítica.

Un adecuado plan de producción permitirá realizar los cambios de productos con las mínimas pérdidas de tiempos en producción. La integración de paneles táctiles en la línea de montaje permite realizar rápidos y sencillos ajustes para poder cambiar de un modo a otro de fabricación al cambiar algún parámetro específico del producto, el cual previamente ha sido programado. El sistema debe ser por ello lo más sencillo e intuitivo como para que un operador no adiestrado pueda realizar pequeñas tareas y posibles operaciones de mantenimiento. La formación de los operarios en el nuevo sistema es imprescindible, está tiene que especificarse en el contrato con la empresa instaladora.

- **RÁPIDO RETORNO DE LA INVERSIÓN.** La justificación de la automatización es un proceso sencillo. Lo importante es centrarse en todas aquellas áreas donde la automatización puede ser una oportunidad de mejora. Reducir la mano de obra constituye generalmente la base del proceso. Sin embargo, es importante considerar lo que afecta al beneficio, el incremento de la velocidad de la línea, la reducción de tiempos muertos caso de fallo, la mejora de la eficiencia y los sistemas de cambio rápido de herramienta. Otro aspecto

es la eficiencia energética. Como norma general un robot es rentable si logra sustituir dos operarios en dos turnos y especialmente en tareas repetitivas.

- **DISMINUCION DE RIESGOS LABORALES.** Los trabajos repetitivos en ambientes en cámaras frigoríficas no son problema para una línea robotizada por lo que estas tareas logran reducir los riesgos laborales. La ausencia de personal en contacto con el producto reduce la posibilidad de contaminación alimentaria logrando mejorar la higiene del proceso.

Automatización y robots van juntos cuando se habla de las futuras aplicaciones. La discusión se centra en un cambio a línea transfer con automatismos específicos o un sistema flexible automatizado por medio de robots que permita su reutilización y mayor adaptación a ciclos de vida del producto más cortos.

Las empresas de la industria alimentaria están aumentando progresivamente la demanda se robots en los últimos años. El mercado de robots ha sufrido en los últimos años un aumento medio del 10 por ciento anual, mientras el número de robots utilizados en la industria alimentaria ha crecido un 30 por ciento de media en los últimos años.

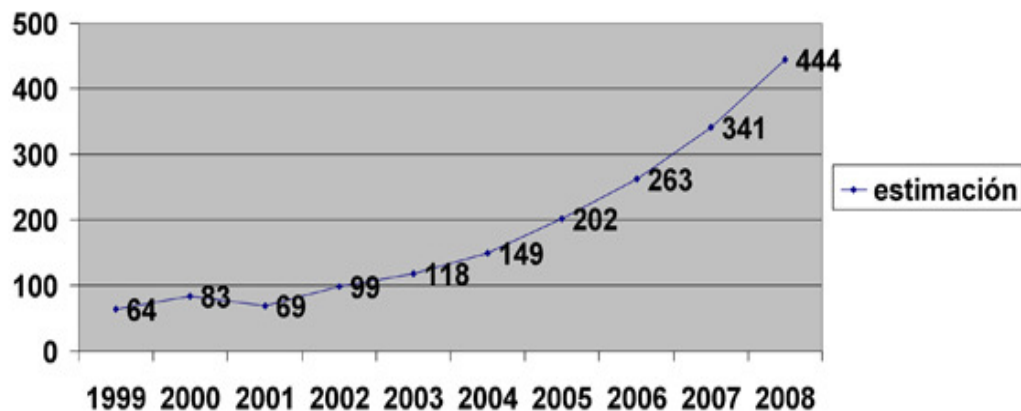


Figura 1.1 Estimación de venta de robots para el sector alimentario en España

Los fabricantes están adaptando y buscando soluciones para esta industria en términos de precisión, higiene, calidad y prestaciones. Esta industria (más de 30.000 empresas en España), cada vez demanda mayor automatización de procesos por lo que la robótica se adapta a sus soluciones particulares y específicas. Desde 2007 más

de la mitad de los robots instalados no son del sector del automóvil, sector que tradicionalmente ha copado el volumen de ventas.

El empleo de robots en una línea de procesamiento de producto hortofrutícola permite automatizar operaciones de:

1. Palletizar: colocar los distintos paquetes en pallets para su transporte final.
2. Empaquetar o encajar: colocación de producto en empaquetado o cajas.
3. *Pick & Place*: colocación de producto unitario o en lote sobre bandeja o similar para su posterior empaquetado.

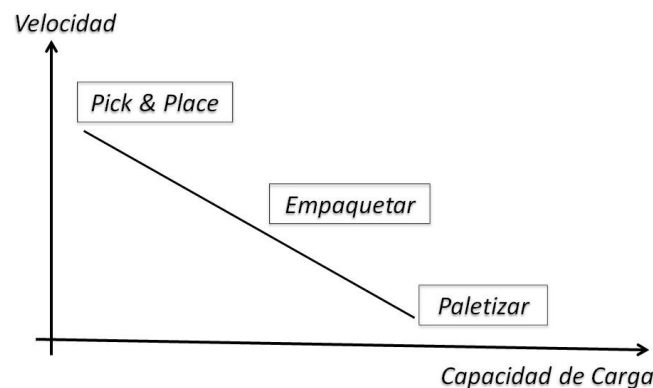


Figura 1.2 Características del robot según tipo de operación robotizada

Tanto para las operaciones de palletizado como encajado o empaquetado existen en el mercado integradores de equipo con diseños específicos de sistemas de agarre para acoplar sobre robots. El robot debe ser capaz de soportar una carga media o alta y las velocidades necesarias para amortizar el equipo no son muy altas.

La operativa *Pick & Place* es la de mayor dificultad por la falta de diseños específicos de sistemas de agarre robotizado. Para este proceso, conseguir una instalación rentable, dado el coste de los productos hortofrutícolas, es necesario tener bajos tiempos ciclo, o lo que es lo mismo, altas velocidades y bajas capacidades de carga. La robótica presenta limitaciones en la manipulación hortofrutícola por falta de tecnologías que permitan manipular estos productos. La variabilidad dimensional, de formas, textura, sensibilidad al daño y desconocimiento de propiedades mecánicas han limitado su introducción.

1.2. Objetivos

El presente trabajo analiza las posibilidades de uso de sistemas de agarre robotizado para productos hortofrutícolas en operaciones *Pick & Place*. Para ello se divide en:

- Garra es a la entidad colocada al final del robot y encargada de conseguir coger el objeto. La manipulación engloba la actividad de la garra pues no solo considera coger el objeto sino lograrlo en un entorno dado, sin producir daños en el objeto y según las condiciones necesarias o buscadas. El proceso de manipulación no solo debe contemplar la garra es por ello imprescindible analizarlo.
- Memoria del estado del arte en manipulación. Conocer las diversas posibilidades que existen para lograr el agarre y las particularidades para su uso en procesos de *Pick & Place* en el sector hortofrutícola.

El diseño de garras para *Pick & Place* robotizado en sector hortofrutícola es el objetivo final. A las dificultades del diseño de garras en los robots se añade el entorno donde esta trabaja. Es imprescindible que durante su diseño se tenga en cuenta el ambiente y las solicitaciones a las cuales se va a someter. No es lo mismo diseñar para aceleraciones de robot de 1g que para 10g o considerar trabajo en entorno limpio o lleno de partículas en suspensión por lo que una metodología de diseño de garras para robots es necesaria, al mismo tiempo se elabora un caso práctico.

Capítulo 2. Manipulación

Manipular objetos constituye una de las necesidades de cualquier automatización manufacturera. Existen numerosas técnicas de logran manipular objetos hasta la posición final deseada. Los robots pueden conseguirlo en la mayoría de los casos y satisfacer las necesidades para automatizar del proceso. Toda manipulación de objetos como mínimo ha de tener alguno de los siguientes parámetros:

- Transporte:

Desplazamiento del producto desde un punto de origen a destino.

- Orientación:

Colocar el objeto en orientación y posición relativa respecto a otro. Hasta un máximo de 6 grados de libertad son necesarios.

- Agarre:

Colocar el objeto en una posición fija respecto a otro que pueda desplazarse de forma deseada.

Según se aumenten las necesidades de la manipulación tendremos que aumentar los grados de libertad disponibles pasando estos desde un simple movimiento lineal a una posición y orientación concreta del objeto. Estas operaciones no son excluyentes y pueden verse solapadas con el objeto de optimizar todo el proceso.

La manipulación, entonces, puede emplear cualquiera de las fases indistintamente. El caso más complejo requerirá todas ellas. La complejidad del mecanismo necesario aumenta también al incorporar más fases. Es más sencillo manipular objetos con solo el transporte que necesitar también su agarre. En general, la mayor dificultad reside en lograr una orientación concreta y esta aumenta al incrementar los grados de libertad necesarios a fijar.

El objeto también es participe de esta complejidad, propiedades como la geometría, forma, dimensión, superficie, material, coeficiente de rozamiento y centro de gravedad son, entre otros, parámetros de vital importancia a la hora de facilitar la manipulación.

El agarre es muchas veces necesario manipular objetos. Por el contrario, la idea de manipular sin agarre es factible en determinados casos. Una cinta transportadora o

un tubo con un fluido pueden proporcionar no solo el transporte necesario si no también la manipulación deseada.

La manipulación precisa de una posición definida tanto en precisión (exactitud de posición) como en repetitividad (capacidad de repetir una posición). Necesidades más ajustadas de estos valores implican mayor complejidad del conjunto. Una correcta manipulación tiene por ello necesidades de precisión y repetitividad definidas que aseguren la calidad buscada.

Con el objetivo de lograr tanto precisión como repetitividad muchas veces es necesario recurrir a diversas tecnologías como sensores de presencia, o cámaras de visión artificial. En general, es preferible que el producto este orientado y ubicado en un sitio previo a su manipulación, si esto no es posible, se tiene que desarrollar un sistema capaz de reconocer su posición y orientación. El reconocimiento del producto más polivalente son las técnicas de visión artificial, capaces de reconocer formas y colores para que, procesando el dato, el sistema sea capaz de pasar conocer la orientación y posición del objeto para lograr su agarre. En las aplicaciones típicas de *Pick & Place* la unión de la visión artificial, proporciona posición y orientación del producto, con la cinta transportadora, posición en el tiempo, es una entrada imprescindible para el correcto funcionamiento del conjunto.

Existen numerosas características deseables en diseño de garras para *Pick & Place* hortofrutícola, entre ellas podemos enumerar:

- Alta velocidad de cierre y apertura.
- Adaptación a variedad de formas.
- Máxima adherencia y mínima presión.
- No debe producir daños en el producto.
- Bajo mantenimiento.
- Alta fiabilidad.
- Peso reducido.
- Homologación para contacto alimentario.
- Mínimo consumo de recursos.
- Precisión de posición necesaria tanto en agarre como en suelta.
- Fácil limpieza.
- Expulsión fácil y rápida del objeto (importante para objetos de escaso peso).

No todas estas características pueden optimizarse en conjunto y muchas de ellas suelen enfrentarse por lo que es necesario llegar a una solución de compromiso. Por otro lado la orientación previa del producto no siempre es necesaria para el agarre del mismo pero puede facilitar enormemente esta tarea reduciendo la complejidad del sistema de agarre y aumentando la fiabilidad y eficacia del mismo. Por este motivo se trata siempre de lograr una posición “fácil” del producto para su posterior agarre, caso de no poder disponer de posiciones concretas y fáciles del producto, el método alternativo pasa por un reconocimiento del objeto por visión artificial para su posterior manipulación.

Los aspectos más distintivos de las operaciones tipo *Pick & Place* típicas del sector de hortofrutícola son los cortos tiempos de ciclo, altos requisitos higiénicos y las condiciones particulares de los productos a manipular, esto es, la variedad de dimensiones, pesos, delicadeza y susceptibilidad a magulladura. Al reducir los tiempos ciclo y disminuir el peso del producto, la operación de soltar el producto no es fácil de realizar por la simple gravedad por lo que el diseño de expulsores específicos ayuda a ganar tiempo ciclo y aumenta la fiabilidad de la operación. Para lograr una correcta higiene es necesario cumplir con las normas sanitarias y diseñar la garra de manera que se facilite su limpieza. Actualmente existen fabricantes que ofertan productos estándar específicos para el sector alimentario que facilitan estas necesidades. La dispersión de formas y textura de los productos hortofrutícolas hace necesario diseñar sistemas específicos de agarre para un producto o una gama de productos que logre adaptarse a él sin producir el daño.

Para el caso de una manipulación con robots [2] describen las fases que caracterizan el proceso de agarre en robótica con una pinza de dos dedos.

1. Choque inicial de un dedo con el objeto cuando comienza el movimiento de cierre de la pinza.
2. Impacto del segundo dedo y arrastre del objeto mientras sigue el movimiento de cierre, hasta que se logra una posición estática del objeto en los dedos ya sea por las fuerzas o por vínculos geométrico.
3. Choque de agarre final cuando se produce el cierre de la pinza y se aplica la fuerza de agarre, deteniéndose el movimiento de los dedos.
4. Agarre estático cuando el objeto queda agarrado en un equilibrio estático entre los dedos.

5. Agarre dinámico en la cual el objeto permanece en equilibrio entre los dedos mientras se produce la dinámica del transporte del objeto.

6. Cuando se produce una perturbación externa al movimiento como ser por ejemplo un impacto ocasional con el medio.

Este proceso describe muy bien las fases que atañen al agarre en sí pero es necesario considerar todo el proceso de una manipulación completa del objeto para lograr reducir los tiempos ciclo. A parte de la garra, el robot y *lay-out* son elementos que intervienen para conocer todo el tiempo necesario por pieza. El siguiente diagrama de flujo de la operación, refleja todas las fases necesarias y el elemento que influye y que, deberá ser optimizado, para lograr reducidos tiempos ciclo.

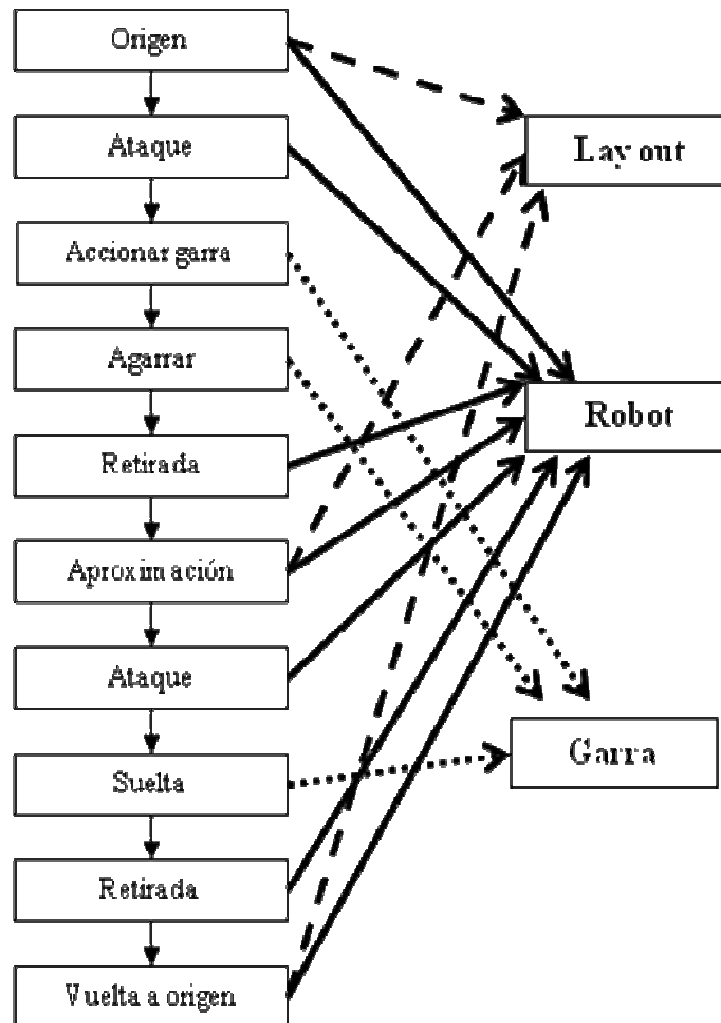


Figura 2.1 Diagrama de flujo de una operación "Pick & Place"

A todas estas fases, en un proceso industrial normal, deberíamos añadir los tiempos de espera y de mantenimiento. Operaciones como aproximar, atacar, accionar garra, vuelta al origen y tiempos de espera y mantenimiento son operaciones de no valor añadido, estas deberían de ser eliminadas para lograr una mayor rentabilidad del proceso. El resto de operaciones de esta en contacto con el producto y se pueden considerar de valor añadido aunque no se realiza ningún aporte al objeto que incrementa su valor son inevitables para un proceso de *Pick & Place*. La imposibilidad, en la mayoría de los casos, de eliminar estas hace imprescindible intentar reducir el tiempo de ellas al máximo.

Lay out, o distribución de equipos, es una de las asignaturas más importantes y que mayores logros puede conseguir en reducir el tiempo ciclo. Una buena distribución en planta logra evitar movimientos excesivos que no aportan valor añadido. La reducción de espacios pasa por compactar la célula y diseñar el conjunto de la forma más reducida posible. Para aprovechar el espacio los robots trabajan en vertical y el fabricante ofrece modificaciones en ellos para este uso.

Los robots transportan, orientan el objeto (hasta los 6 posibles gdl) y dotados del elemento terminal adecuado permiten el agarre. También son reprogramables, tienen una alta repetitividad, pueden trabajar en entornos hostiles,... En el sector horto-frutícola el robot ha de estar acorde con estas necesidades de diseño higiénico (DIN EN 1672-2 [3]), fácil limpieza con un Índice de Protección (IP) 65 o mayor y resistencia a la corrosión. Para lograr un rápido retorno de la inversión, es necesaria una alta velocidad de manipulación por lo que los robots de cadena cerrada son los que mejor se adaptan a estas necesidades de alta velocidad y baja carga. La proliferación en el mercado de este tipo de robots es notable, ABB flexpicker IRB 340-360, Adept Quattro, Bosch Demareux, Scheneider Delta2-3 de Ulma, Ixapack,... Ante soluciones de múltiple agarre las necesidades de carga aumentan por lo que los robots articulados cilíndricos se adecuan perfectamente a una mayor capacidad de carga con buenas prestaciones de aceleración y velocidad con alcances reducidos. Existen modelos específicos para alimentación; Stäubli RS20, Denso HS-HM, Adept Cobra, Epson E2S. Incluso algunos modelos trabajan sellados y presurizados interiormente.

La solución final considera el funcionamiento en conjunto del *lay-out*, robot y garra. El diseño de la célula debe integrarse en la selección de estas tres áreas. Para lograr una mayor eficacia es imprescindible reducir las necesidades de posición facilitando la operativa de la manipulación.

Capítulo 3. Técnicas de manipulación

3.1. Clasificación general

Existen diversas publicaciones que clasifican los distintos tipos de agarre con robots. G. Seliger [4] emplea 4 grupos según el principio a emplear sea mecánico, neumático, adhesivo o electrostático.

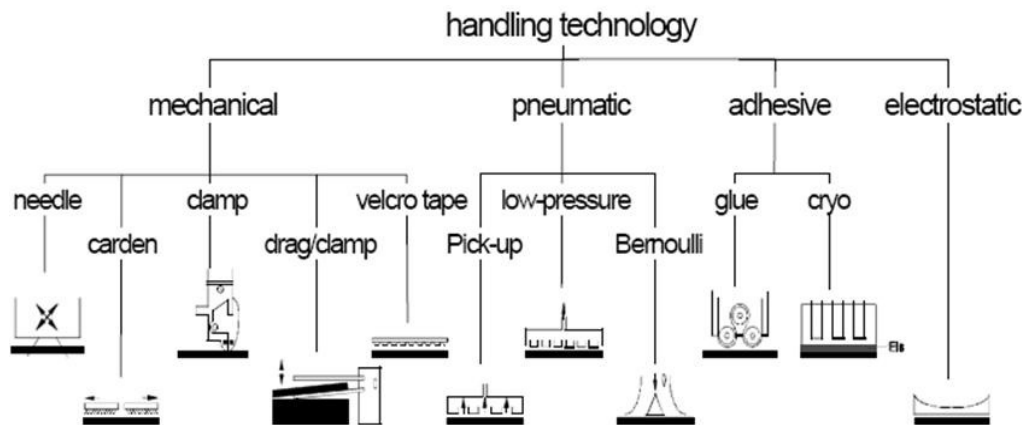


Figura 3.1 Clasificación de las tecnologías de agarre según Seliger [4]

En otra publicación [5] de análisis para la manipulación de textil clasifica las técnicas según se pueda agarrar el objeto por medio de fuerzas de fricción, intermoleculares y adaptación a la forma.

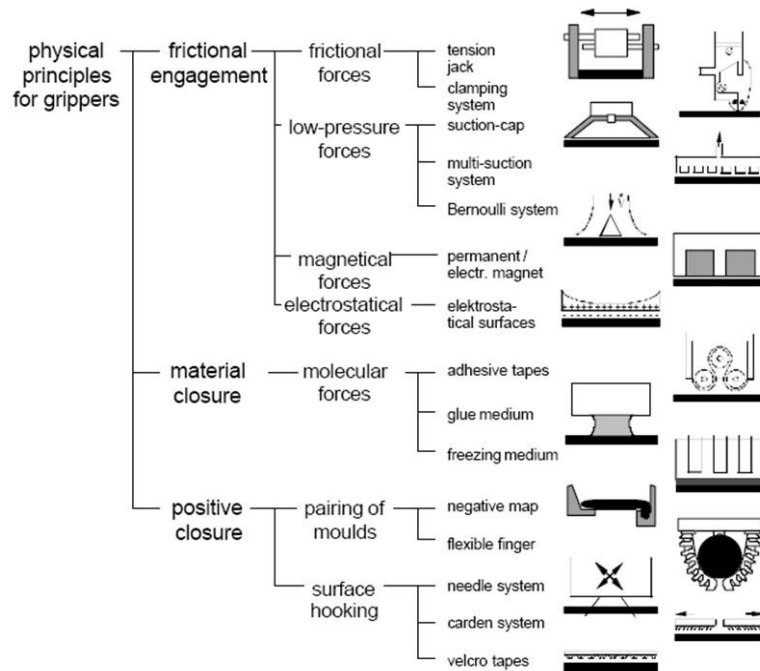


Figura 3.2 Clasificación de las tecnologías de agarre según Seliger [5]

Está crea un nuevo subgrupo el cual permite dar una mejor imagen de los sistemas de ventosas y garras, y considera el efecto del magnetismo. También, incluye los dedos flexibles de goma.

Considerando los distintos métodos anteriores y analizando nuevas posibilidades, teniendo en cuenta el concepto global de los pasos necesarios a realizar durante la manipulación robotizada, podemos generar la siguiente tabla. Está muestra según las estrategias a usar los métodos posibles y las capacidades de estos en función de su habilidad para transportar, orientar y agarrar el producto.

Estas reflexiones iniciales siempre parten de la base de clasificar el método empleado. Una posible clasificación, ampliando las presentadas, se basa en establecer la estrategia a partir del cual se genera la manipulación. La estrategia constituye la base sobre la cual se pretende manipular el objeto. Todo el proceso puede emplear una o más estrategias. Una vez seleccionada debemos de considerar el método con el cual se pretende realizar manipulación. El conjunto de estrategias y métodos debe lograr satisfacer las necesidades creadas de transporte, orientación y agarre buscados. La figura 3.3 muestra las posibilidades de manipulación en base los requisitos buscados y la estrategia y método seleccionado. También analiza la capacidad de esa estrategia y método para transportar, orientar y agarrar el producto.

Estrategia	Método		Capacidades		
			Transporta	Orienta	Agarra
Aire	Aspiración	Ventosas	No	No	Si
		Conductos	Si	No	No
	Impulsión	Bernoulli	Baja	No	Si
		Soplado	Si	Baja	No
Fuerzas de contacto	Garras	Eléctricas	No	Si	Si
		Neumáticas	No	Si	Si
		Hidráulicas	No	Si	Si
		De goma (globos y dedos)	No	No	Si
		Manos articuladas	No	Si	Si
	Mecanismos articulados	No	Baja	Si	
	Ganchos y velcros	No	No	Si	
	Clipado	No	No	Si	
Penetración en objeto	Agujas		No	No	Si
Unión química	Soldadura		No	No	Si
	Adhesivos (sistema LAAG)		No	No	Si
Magnetismo	Atracción		Baja	Si	Si
	Repulsión		Si	Baja	No
Carga eléctrica	Fuerzas electrostáticas entre piezas		No	No	Si
Fluido	Congelación de vapor Cryo		No	No	Si
	Magneto-reológico		No	Baja	Si
Propiedades físicas del objeto	Gravedad o caída		Si	Baja	No
	Apilar/Empujar		Si	Baja	No
	Dinámica		Si	Baja	No
	Vibración orientada		Si	Baja	No
	Abrazar		No	Baja	Si
Levitación	Aerodinámica		Si	No	No
	Electrostática		Si	No	No
	Óptica		Si	No	No
	Acústica		Si	No	No
	Magnética		Si	No	No
	Superconductor		Si	No	No

Figura 3.3 Clasificación de estrategias y métodos de manipulación.

Muchos de estos métodos no se han utilizado nunca como sistemas de garras en robots, pero constituyen una base de posibilidades de uso para lograr manipular objetos que hasta la fecha presentan notables dificultades como el caso de los hortofrutícolas. La particularidad de estos productos necesita del desarrollo de nuevas tecnologías que faciliten la implementación de la robótica es ese sector.

3.2. Aire

En la actualidad hay una enorme cantidad de productos industriales que usan el aire para el agarre automatizado de productos. Es fácil de conseguir y transportar hasta el punto de uso y es una de las estrategias más empleadas en robótica. El aire se puede usar de dos claras formas por soplado o aspiración.

3.2.1. Ventosas y conductos

La diferencia de presión genera una. La succión generada permite transmitir esfuerzos, por diferencia de presiones, al objeto para su posterior manipulación. Debido a la forma de trabajo, estos sistemas, son muy validos para trabajar en esfuerzos normales pero no para cortantes. Su capacidad de transmisión de esfuerzos cortantes depende del rozamiento entre la superficie de la ventosa y la del objeto y de la rigidez lateral que esta tenga. El conjunto de estos los esfuerzos creados en la manipulación ha de ser menor que los máximos esfuerzos normales y tangenciales creados por la ventosa. Es muy importante considerar no solo los fenómenos gravitatorios si no los inerciales debidos a la aceleración a que se somete el producto. La colocación de varias ventosas aumenta la capacidad de carga, si bien, este aumento es menor que la suma de los efectos individuales. Los fabricantes proporcionan tablas en donde poder calcular la cantidad de ventosas necesarias y la depresión. Al funcionar por diferencia de presiones según se aumente aumentara la capacidad transmitir esfuerzos. En general, las ventosas se emplean en entornos a presión atmosférica por lo que la altura a la cual se realizará el diseño cobra especial relevancia, ya que al aumentar esta, disminuye la máxima diferencia de presiones que se puede alcanzar.

El vacío industrialmente se realiza por medio de bombas volumétricas, alta depresión y bajo caudal, centrífugas, baja depresión y alto caudal o por efecto venturi. T. Zhu [6] propone un nuevo método de generación del vacío por medio vibración.

Para conseguir un cierre hermético del aire entre la ventosa y el objeto es necesario que ambos cumplan una serie de requisitos. Los objetos deben ser no porosos o de escasa porosidad y su superficie plana o ligeramente curva. Según aumentemos la rugosidad e irregularidad geométrica del objeto, se reduce la capacidad de asir el objeto con ventosas.

Las ventosas más comunes son circulares planas o con una o más ondulaciones. Las ovales se usan en piezas largas y estrechas o cuando la pieza tiene costillas o aristas. Las planas se emplean en piezas suaves o con superficies con textura suave. Trabajan mejor en esfuerzos cortantes y tienen menores tiempos de respuesta. Las ventosas de una o más ondulaciones permiten trabajar con piezas irregulares, suaves o contornos superficiales. Además, trabaja bien con superficies flexibles. Al aumentar el número de ondulaciones se incrementa la flexibilidad de la pieza y constituye un amortiguamiento a la manipulación de la pieza. Las ventosas se fabrican de diversos materiales cuyas propiedades varían en función de las necesidades. En función del tipo de objeto y las condiciones ambientales se elige el tipo de material de la ventosa para pasar a dimensionar su tamaño y cantidad en función del catalogo proporcionado por el fabricante y teniendo en cuenta la forma de manipular la carga (horizontal y/o vertical) y las aceleraciones que sufrirá.

El empleo de varios labios permite conseguir una buena compensación en altura en objetos donde se desconoce la posición vertical exacta. Está beneficia el empleo dinámico de cargas ya que actúa a modo de amortiguador ante aceleraciones por el contrario la incertidumbre de la posición de la pieza es mayor y disminuye la capacidad de transmitir esfuerzos cortantes. Otra de las soluciones adaptadas es la colocación de muelles capaces de absorber las irregularidades de forma mejorando la adaptación a la pieza.

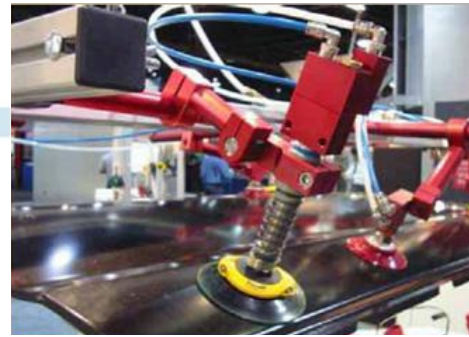
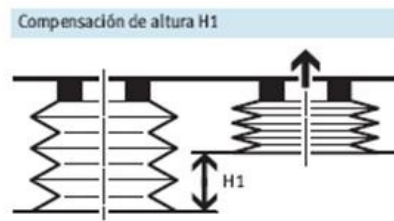


Figura 3.4 Sistema flexible de adaptación a irregularidades en altura

La depresión es generada en la cavidad entre producto y ventosa. El acople ha de lograr el vacío necesario para manipular la carga. Las ventosas se seleccionan por gama de productos a manipular en ella se consideran las condiciones particulares:

- Según la forma tenemos: láminas, planos, tubos, bobinas, barras, cajas, bolsas, sacos, papel, armarios,...
- Según el tipo de material: metal, hormigón, espuma, madera, piedras, plásticos, materiales no porosos suaves.
- Según la geometría del objeto: cóncava, convexa, plana, costillas, desigual, superficies ondulantes.
- Según por el tipo de acción que se realiza: levantar, recoger, inclinar, rotar, colocar, empaquetar.
- Según el ambiente de trabajo: interior, exterior, polvo, cálido, líneas de producción.

G. Mantriota [7] presenta estudios sobre las capacidades de las ventosas en función de la depresión generada y el tipo de, analizando [8] el caso para el empleo de múltiples ventosas

En la industria se ha logrado manipular con ventosas: pallets, maderas, cajas de cartón, ladrillos, tejas, perfiles metálicos, tretrabriks, vasos, bidones, latas, productos blandos envasados en plásticos y/o papel, comida empaquetada, baterías, llantas, paredes de construcción, magdalenas, bandejas cristal, papel impresión, paquetes de galletas, harina, industria farmacéutica, huevos, cilindros de hormigón, botellas, panes, industria pastelera,...

Las principales ventajas del uso de ventosas son:

- ✓ Amplia gama estandarizada en el mercado.
- ✓ Posibilidad de uso de materiales homologados para contacto alimentario.

- ✓ Capacidad de resistencia a distintas temperaturas.
- ✓ Capacidad de manejo de cargas elevadas.
- ✓ Capacidad para absorber una amplia tolerancia dimensional en cota vertical con el empleo de varios labios.
- ✓ Buen comportamiento ante esfuerzos dinámicos generados durante el movimiento (este aumenta al aumentar la flexibilidad de la ventosa y/o el grosor del labio).
- ✓ Buena adaptación a diversidad de formas al incrementar el número de labios.
- ✓ Al reducir el grosor del labio aumenta la capacidad de aguantar mayores esfuerzos y mejora la posición relativa.
- ✓ Posibilidad de uso de válvulas de activación que comienzan a generar el vacío cuando tocan el objeto a manipular.
- ✓ Capacidad para manipular objetos que se encuentren juntos.

Inconvenientes:

- Necesidad de uso de superficies, planas o con escasa curvatura y/o poca ondulación.
- La superficie debe aguantar la carga sin sufrir daño del producto.
- Necesita baja o nula porosidad de la superficie.
- Mal funcionamiento para superficies rugosas.
- Requiere un cierto tiempo para realizar el vacío antes de manipular la carga.
- La posición del producto no es exacta, la precisión dependen en gran medida del tipo de ventosa a utilizar.
- Mal comportamiento en medioambientes con suciedad.
- Empeoramiento del esfuerzo máximo a realizar con la altura debido a la caída de la presión atmosférica.
- Mal comportamiento con objetos sucios al obturar el paso del aire deja de funcionar.
- Posible marcado del objeto.
- Mal comportamiento en esfuerzos cortantes.
- Al aumentar el número de labios aumenta la incertidumbre de posición final.
- Los tiempos de manipulación se incrementan al aumentar el volumen de vacío a realizar.
- Consumo de energía elevado, en la mayoría de aplicaciones, al estar el sistema de vacío en funcionamiento continuo.
- Desgaste alto de la ventosa con el uso.

Existen, en la industria, algunos intentos de manipulación hortofrutícola con ventosas. Destaca la aplicación de Marel. La ventosa dispone de una gran apertura por la que el objeto se inserta hasta realizar tope sobre el interior de la misma. Este tope cumple varias funciones:

- Evitar obstruir la succión de aire para que de esta forma trabaje la mayor superficie de la ventosa en depresión
- Aumentar el contacto con el objeto mejorando la capacidad para transmitir esfuerzos
- Evitar el daño del objeto por exceso de deformación, este efecto es particularmente elevado para el caso de la manipulación de productos en bolsa donde el exceso de deformación puede dañar esta. Por otro lado los toques internos deben ser flexibles con el fin de evitar crear marcas o daños del producto a manipular.

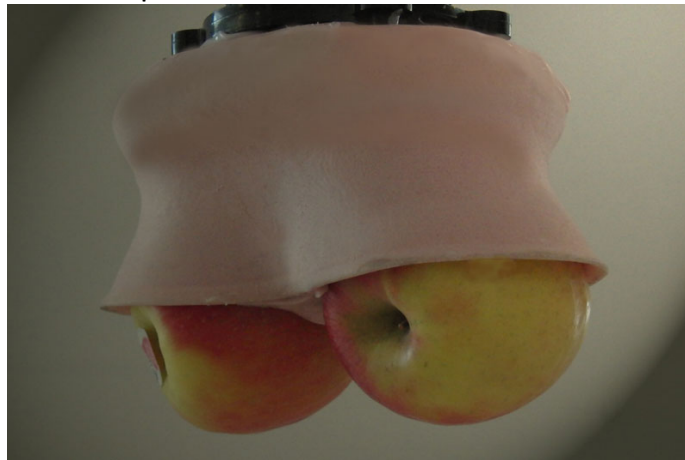


Figura 3.5 Ventosas de Marel para la manipulación de manzanas

Las mayores pegas para el uso de ventosas en este sector para proceso de *Pick & Place* son:

- Suciedad del producto.
- Posibilidad de marcado de la superficie.
- Alto consumo energético para lograr un tiempo ciclo reducido.
- Dificultad de lograr una alta durabilidad y bajo mantenimiento.
- Irregularidad y disparidad de formas del producto.

En manipulación de objetos alimentarios destaca la aplicación de Fatronic-Tecnalia desarrollando un nuevo proceso que se encuentra en trámite de patente para sexar y manipular el verdol, que reemplazará al proceso manual que supone un elevado

tiempo y coste. La garra del robot que identifica el sexo de los peces y los separa lo que es muy interesante para el sector conservero, debido a que el coste de las huevas es de en torno a 10 o 12 veces superior que el de la propia carne del pescado. La garra es una serie de ventosas dispuestas en círculo. La empresa Robert Bosch GmbH aplica a sus robots Sigpack Delta Robotics – LDx una patente para agarre por succión aplicado a la manipulación múltiple de productos de bollería industrial. Este es un claro ejemplo de manipulación por conductos en apilación.

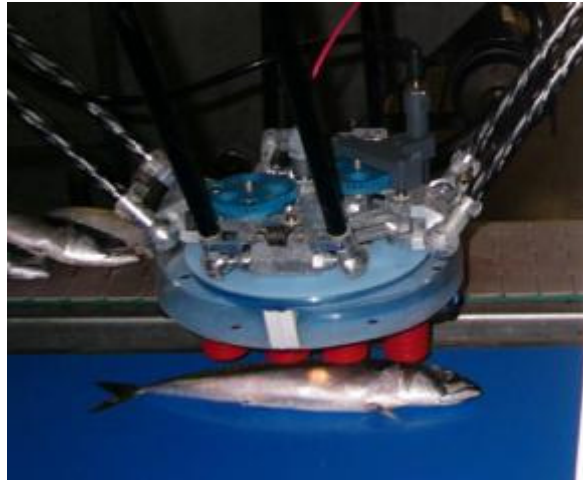


Figura 3.6 Garra de Fatronic-Tecnalia para el verdel

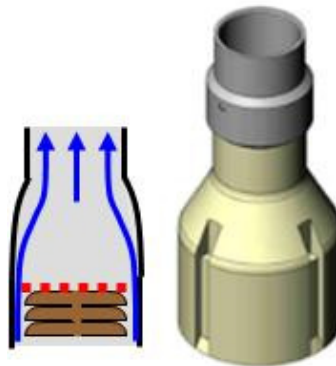


Figura 3.7 Sistema de succión de Sigpack Delta Robotics

M. Sdahl [9] de la Universidad de Dortmund propone un software que adapta las posiciones de las ventosas al objeto que se pretende agarrar. La publicación consiste en establecer por medio del CAD de la pieza las zonas adecuadas para el agarre con las ventosas del útil. El software teniendo las entradas del área de trabajo de las ventosas, los datos de las ventosas y la superficie del objeto, consigue determinar las

zonas son adecuadas. Posteriormente se desplazan las ventosas al lugar seleccionado consiguiendo así adaptar el útil de las ventosas a la superficie del nuevo objeto.

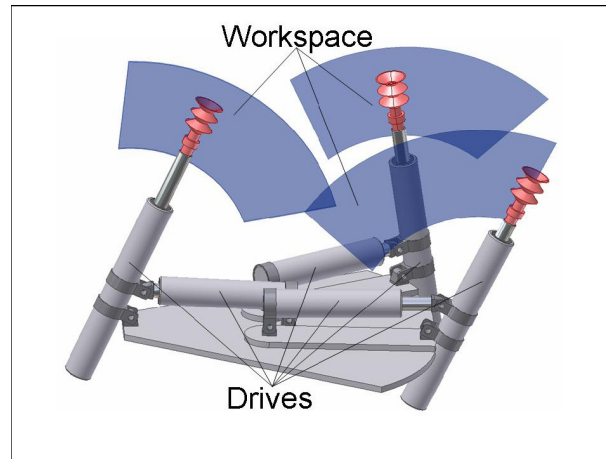


Figura 3.8 Sistema adaptable de ventosas [9]

3.2.2. Impulsión. Bernoulli y soplado

Se basa en la propiedad que tiene de generar una depresión al pasar un fluido a alta velocidad sobre la superficie del objeto, la diferencia de presiones, entre ambas caras del objeto, sirve para generar una fuerza. Esta puede aprovecharse para vencer la gravedad.

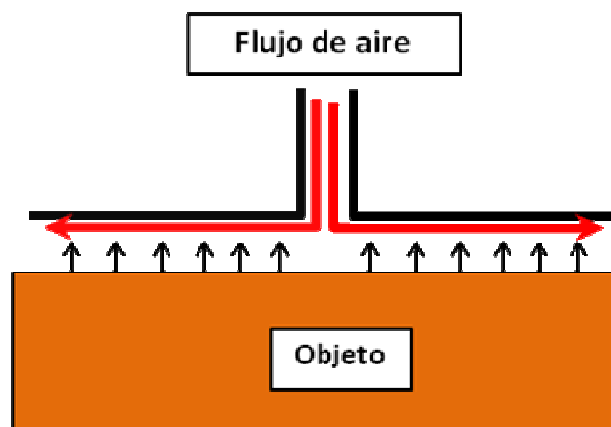


Figura 3.9 Principio de funcionamiento de garras de Bernoulli

Este sistema está comercialmente desarrollado para manipulación de tarjetas electrónicas. Para conseguir la correcta manipulación [10] es preciso seguir una serie de pasos concretos para acercar, soplar y posteriormente levantar el objeto. Desde el punto de vista de la manipulación alimentaria el sistema presenta ventajas como:

- ✓ Sistema sin contacto.
- ✓ Rápido.
- ✓ Construcción sencilla.
- ✓ Evita la contaminación alimentaria.

Por el contrario los inconvenientes son:

- Baja capacidad de carga.
- Puede deformar el producto.
- Precisa aire descontaminado.
- Produce el secado de los productos a manipular.
- Necesidad de un alto volumen de aire y con ello un elevado gasto energético.

Son escasos los ensayos sobre productos hortofrutícolas. Sin embargo, existen algunos intentos de usar este sistema para la manipulación de rodajas de pepinos y tomates [11]. Por este método solo pudieron manipularse alimentos planos, de adecuada rigidez y escaso peso del orden de gramos, durante más de 5 segundos. Otras investigaciones tratan de emplear este principio para manipular pieles [12] e incluso hay líneas que buscan la manipulación de bollería industrial [13]. La dificultad de conocer exactamente como se distribuyen los esfuerzos también ha sido analizada en publicaciones donde emplean los elementos finitos para conocer las tensiones resultantes en la manipulación de placas de silicio [14].

En la industria se emplea este principio para manipular CDs, placas electrónicas, lentes,... Bosch Rexroth o Schmalz tienen modelos de garras que emplean este principio. Los esfuerzos de levantamiento oscilan entre 0,9 y 6,0 N para diámetros entre 20 a 60 mm.

3.3. Fuerzas de contacto

Esta muy difundido en el mercado. El esfuerzo generado con el contacto es capaz de vencer las sollicitaciones necesarias durante la manipulación. El agarre se produce por el accionamiento de un mecanismo capaz de transmitir los un esfuerzo a dedos que entran en contacto con el objeto.

3.3.1. Garras

Las pinzas o garras clasifican en función del tipo de movimiento que produzcan; paralelo (con dos dedos), angular, concéntrico, movimiento especial. Su principio de accionamiento o procedencia de la energía, la capacidad de trabajo en determinados entornos y el método de agarre que se puede emplear.

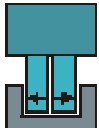
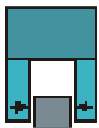
Tipo	Accionamiento	Ambiente de trabajo	Método de agarre
Paralelo	Neumático	Condiciones normales	Externo 
Angular	Eléctrico	Condiciones extremas (suciedad, polvo, agua,...)	
Autocentrante	Hidráulico		Interno 
Diseño especial	Magnético		
			Ambos

Figura 3.10 Clasificación de tipos de garras

Para sistemas de pinzas con dos dedos Marco Ceccarelli [2] presentan una clasificación y análisis de pinzas industriales de dos dedos, sus estructuras cinemáticas y la mecánica del agarre.

Las garras de accionamiento **paralelo** se definen así por el movimiento paralelo de sus dedos para asir la pieza. Fabricados en una amplia variedad de tamaños, permiten

manipular objetos grandes o pequeños. Se clasifican según la amplitud de apertura. Los esfuerzos de cierre varían según el tamaño del cilindro de cierre oscilando entre unidades a decenas de miles de Newton de cierre o apertura. El esfuerzo de cierre varía en función del rango de apertura bajando al aumentar este y al aumentar la distancia de aplicación de la carga. Pueden ser de simple efecto, uno de los movimientos está asistido por un muelle, o de doble efecto, la apertura y cierre se controlan por medio de la activación de válvulas de circuito neumático. El fabricante proporciona tablas para calcular el tamaño de la garra necesaria.

El cierre de las garras puede estar activado por medio de una leva, o mecanismo, la cual eleva la presión de cierre en función del punto de trabajo de esta, está varía en función de la distancia entre las garras. Las variantes más sencillas aplican directamente el movimiento del pistón. La resistencia a la temperatura puede subir hasta 150°C si se emplean materiales especiales, temperatura normal de uso entre 5 y 80°C. Permite un uso mayor de 1,5 millones de ciclos sin mantenimientos especiales siempre que el tipo de aire a usar sea el especificado por el fabricante. Se pueden colocar sensores de posición.

Existen modelos que permiten aumentar el rango de la distancia de apertura lo cual facilita la manipulación de objetos de tamaños variados. Para poder seleccionar la garra de accionamiento paralelo correspondiente hay que tener en cuenta los valores máximos admisibles de M_x , M_y y F_z .

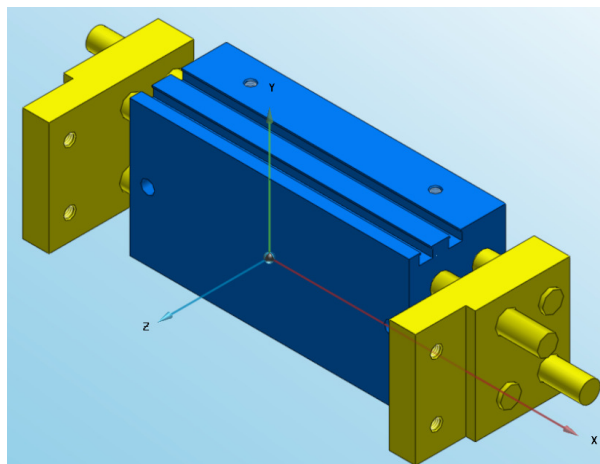


Figura 3.11 Garra de accionamiento paralelo

En la industria alimentaria Schunk dispone de modelos específicos para el sector alimentario, también Applied Robotics, Scanvaegt, Robomotion, Vortex Systems y Panidea tienen diseños de garras, específicos por tipo de producto.

Las garras de accionamiento **angular** hacen que los dedos pivoten sobre un punto facilitando la carga de ciertos componentes. Se clasifican según el grado de apertura y/o el par logrado. El esfuerzo de las garras disminuye según nos alejamos del punto de giro, esto es, al aumentar la longitud de la garra y también al aumentar el ángulo de apertura. Al aumentar el ángulo de apertura es posible evitar la necesidad de realizar un movimiento retráctil o de aproximación para manipular el componente permitiendo el ahorro de movimientos y con ello disminuyendo el tiempo ciclo. Ahorran espacio respecto al sistema de movimiento paralelo.

Las garras de bajo ángulo de apertura tienen mayor esfuerzo de cierre y son más sencillas y económicas, se emplean para componentes muy pequeños. Para poder seleccionar la garra de accionamiento paralelo correspondiente hay que tener en cuenta los valores máximos admisibles de M_x , M_y y F_z .

Permite coger las piezas tanto de su parte exterior como interior. Los dedos actúan directamente con un pistón o por medio de un mecanismo o leva.

Son menos costosos que las garras paralelas, ya que requieren menos piezas mecanizadas y rodamientos. Solo permiten coger las piezas desde fuera. Tienen menor rango de apertura que los sistemas paralelos. Mal comportamiento ante esfuerzos laterales. Puede trabajar fuera del plano de apoyo de la pieza.

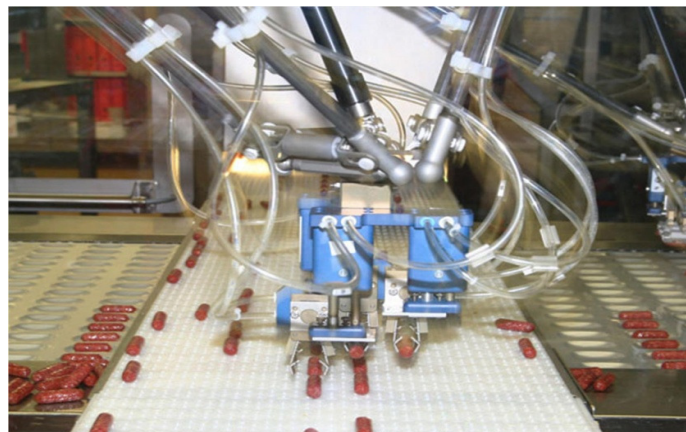


Figura 3.12 Garras angulares realizadas por Robomotion

Las garras de accionamiento **autocentrante** emplean el movimiento de varios dedos a modo plato de garras de un torno para logra asir el objeto. Existen diversos tipos en función del número de dedos, la elección o no de apertura o cierre por muelle o sin él, si trabaja a apertura o cierre. Facilita la manipulación de objetos redondos en donde las garras paralelas o angulares no pueden asegurar correctamente la carga. Puede

trabajar a apertura o cierre. Los esfuerzos de agarre disminuyen al aumentar la distancia de la carga.

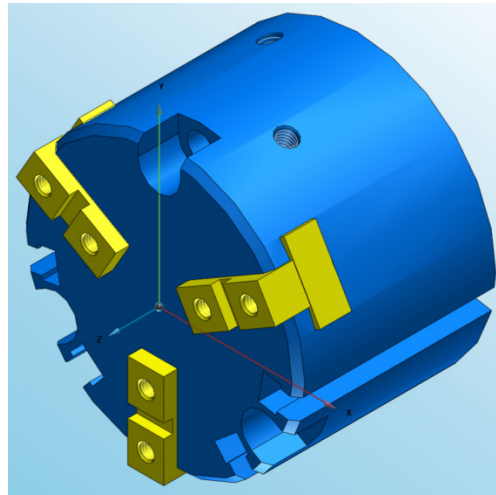


Figura 3.13 Garra autocentrante

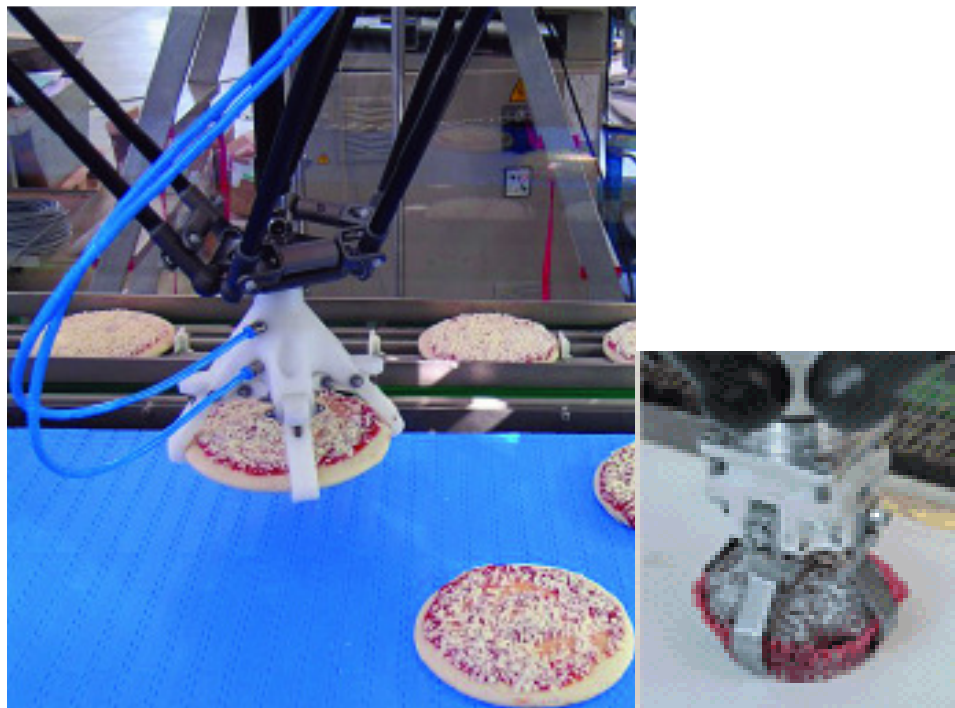


Figura 3.14 Ejemplo de manipulación de pizzas de Vortex Systems y Panidea

Las garras de accionamiento con **diseños especiales** disponen de sistemas mecánicos capaces de generar diversos tipos de movimiento de los dedos con el fin de lograr el movimiento buscado por el diseñador.



Figura 3.15 Garra estándar de Schunk con giro en z y accionamiento paralelo



Figura 3.16 Herramienta de SAS automation se utiliza para cargar bolsas

Un correcto diseño en un sistema de garras ha de tener las siguientes características:

- ✓ Ajuste óptimo entre la garra y el objeto.
- ✓ Amplio margen y posibilidad de agarre de objetos de distinta forma y tamaño.
- ✓ Alta repetitividad.
- ✓ Control de la zona de esfuerzo.
- ✓ Baja cantidad de uniones y juntas.
- ✓ Ocupa poco espacio, masa y alta robustez.
- ✓ Fácil mantenimiento y alta fiabilidad.

- ✓ Evitar el dañar y deformar el objeto durante el agarre.
- ✓ Alta precisión de posición final del objeto.
- ✓ Resistencia la desgaste.
- ✓ Fácil control y bajos tiempos de ciclo.
- ✓ Para el caso del sector hortofrutícola son interesantes:
 - Posibilidad de variar los esfuerzos en función de la masa, forma y superficie.
 - Posibilidad de seleccionar objetos próximos unos a otros.
 - Facilidad de limpieza caso de uso en sector alimentario.

El modo de accionamiento de la garra determina las características de la operativa según los requerimientos buscados.

	Mecánico	Neumático	Hidráulico	Magnético	Motor eléctrico
Alta fuerza de agarre	⚠	⚠	✓	⚠	⚠
Control	⚠	⚠	⚠	✓	✓
Transmisión de energía	✓	⚠	⚠	✓	✓
Resistencia ambiente sucio	✓	⚠	✓	✗	⚠
Matenimiento	✓	⚠	⚠	✗	⚠
Comportamiento en parada de emergencia	✓	⚠	⚠	✗	⚠
Tamaño	⚠	⚠	✓	⚠	⚠
Coste	✓	✓	⚠	⚠	✗

Figura 3.17 Características de las garras según accionamiento

3.3.1.1. Garras eléctricas

Permiten, fácilmente, la incorporación de sensores de posición, fuerza, aceleración, efectos inerciales,... Los sensores más sencillos permiten saber el estado de la pinza, abierto o cerrado.

Ventajas:

- ✓ Estandarizados en el mercado, esto facilita el encontrar soporte y soluciones variadas propuestas por los distintos fabricantes.
- ✓ Robusto y fiable, el número de ciclos admisibles es elevad.
- ✓ Bajo mantenimiento.
- ✓ Rapidez de ejecución.
- ✓ Amplias facilidades de monitorización del movimiento y esfuerzo realizado.
- ✓ No contamina el medio de trabajo con fluidos.

Inconvenientes:

- Mayor mantenimiento que los sistemas neumáticos.
- Posible marcado de piezas.
- Añade complejidad al conjunto del equipo (cableado, armarios, conectores,...).
- Precio mayor que el sistema neumático.
- Incremento del peso.

3.3.1.2. Garras neumáticas

Emplean un circuito neumático alimentado por una bomba y un acumulador que permite disponer de la energía necesaria para actuar sobre la garra. La principal ventaja de estos sistemas radica en su simplicidad, estandarización industrial y economía, por el contrario, la precisión tanto en posición como en fuerza no es tan buena teniendo que recurrir a la monitorización por medio de sensores de posición (ej, cilindro abierto o cerrado) y de control de presión aplicada. Existen diversos sensores que permiten controlar posiciones finales e intermedias. Controlando la presión neumática se consigue regular la fuerza de apriete.

Ventajas:

- ✓ Amplia estandarización en el mercado, esto permite encontrar soporte y soluciones variadas propuestas por los distintos fabricantes.
- ✓ Precio competitivo.
- ✓ Robusto y fiable, el número de ciclos admisibles es elevado.
- ✓ Bajo mantenimiento.
- ✓ Rapidez de ejecución.
- ✓ El aire del circuito neumático no se contamina por trabajar en ambientes sucios.
- ✓ Buen control de la posición final de la pieza.

Inconvenientes:

- Falta de capacidad para controlar el esfuerzo y la velocidad de las garras.
- Difícil control de la posición de las garras durante el movimiento.
- Posible marcado de piezas.
- Brusquedad de movimientos que puede ser compensada con absorbentes o amortiguadores.
- Consigue o rapidez y brusquedad o movimiento lento y suave.

3.3.1.3. Garras hidráulicas

Precisan del empleo de una centralita hidráulica encargada de transmitir el fluido a presión.

Ventajas:

- ✓ Alta capacidad de esfuerzo con escasa superficie de aplicación.
- ✓ Producto estandarizado en el mercado, permite encontrar soporte y soluciones variadas propuestas por los distintos fabricantes.
- ✓ Facilidad de control del movimiento.
- ✓ Suavidad del movimiento evita colocar absorbentes.
- ✓ Buen control de la posición final de la pieza.
- ✓ No hay intercambio de fluido con el exterior.

Inconvenientes:

- Instalación compleja.
- Dificultad para controlar el esfuerzo.
- Posible marcado de piezas.
- Necesidad de mantenimiento periódico.

3.3.1.4. Garras magnéticas

El magnetismo consigue hacer mover las garras.

Ventajas:

- ✓ Posibilidad de soportar altos esfuerzos dimensionando los electroimanes.
- ✓ Rapidez de funcionamiento.
- ✓ Buen control de la posición final de la pieza.
- ✓ Sistema estanco sin intercambio de fluido con el exterior

Inconvenientes:

- Instalación compleja, (electroimanes, cableados, conexiones,...).
- Dificultad para controlar el esfuerzo y este puede ser pequeño.
- Posible marcado de piezas.
- Necesidad de mantenimiento periódico.
- Los esfuerzos óptimos se producen en muy poca distancia.
- Movimientos bruscos.

3.3.1.5. Garras de goma

El inflado de globos permite agarrar objetos por su interior. Es necesario que el objeto tenga formas y rigideces concretas y que, la adherencia lograda del contacto sea suficiente. La manipulación se logra en objetos con agujeros. El aire infla la parte externa y se aprovecha para acoplarse interiormente a objeto a manipular. El aire empleado es siempre el mismo con las ventajas de evitar la contaminación del mismo y la capacidad para trabajar en entornos sucios. Otra solución es conseguir movimientos de dedos por medio de diferencia de rigidez al aplicar aire a presión se dobla para rodear el objeto. La estructura en forma de protuberancias permite

agarrar la pieza en todas las direcciones. Se puede controlar la fuerza de apriete controlando la presión aplicada. Los dedos vuelven a su forma original al dejar de aplicar la presión. Es adecuado para el manejo de piezas redondas, ovales e incluso formas extrañas. Se emplea en la industria para la manipulación de bombillas



Figura 3.18 Globos inflables para la manipulación de botellas



Figura 3.19 Sistema de dedos flexibles de Schmalz

Ventajas:

- ✓ Sencillez del mecanismo.
- ✓ Capacidad de adaptación a diversas formas.
- ✓ Sistema estanco sin intercambio de fluido con el exterior.
- ✓ Silencioso.

Inconvenientes:

- Escasa durabilidad.
- Capacidad de carga limitada en algunos casos.

- Alta incertidumbre de posición del objeto.

Y. Bar-Cohen [15] propone el uso de polímeros electro activos como mecanismos que permiten el agarre con robots. Estos son muy sensibles al contenido en agua y precisan de recubrimientos en metales nobles. Hasta día de hoy se han conseguido manipular objetos de escaso peso. La duración de las propiedades de estos polímeros está limitada.

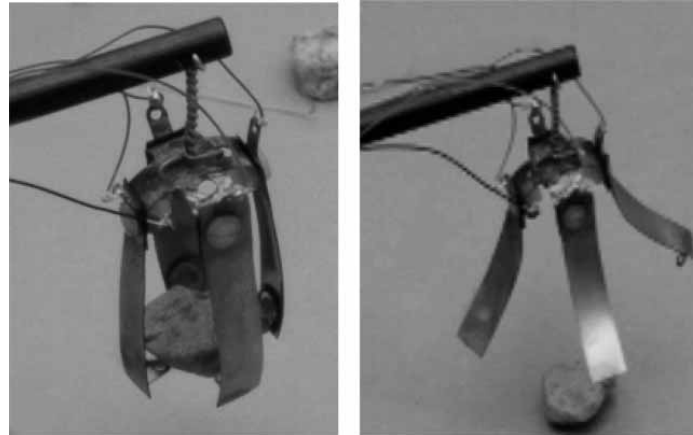


Figura 3.20 Garra de polímeros electroactivos de Y. Bar_Cohen

3.3.1.6. Manos articuladas

La mano humana posee una altísima capacidad de manipulación, los diseños de manos articuladas tratan de conseguir esas aptitudes con el objetivo de prender cualquier tipo de objeto. La idea es incrementar los grados de libertad para conseguir adaptarse lo máximo posible a las necesidades del agarre. La complejidad de cómo realizar y controlar el efecto de prender un objeto es elevada.

El empleo de sensores en los dedos contribuye el sistema de agarre más flexible desarrollado en la actualidad. La sensorización se centra en el control de la posición, presión realizada y par en las articulaciones. Por medio de la comunicación de estos sensores con el PC y con un software específico desarrollado por el constructor, se pueden controlar los movimientos de los dedos y la presión que se ejerce sobre el objeto. Fabricantes como, Barrett Technology, Schunk, DLR e IFAS hand RWTH Aachen ofrecen este tipo de productos.



Figura 3.21 Ejemplo de mano articulada

El coste de estos mecanismos es más elevado que las garras tradicionales, por el contrario, estas aportan una mayor flexibilidad, mejor respuesta dinámica, ante variaciones en el producto, y mayor seguridad. Si se pretenden manipular diversos tipos de objetos el empleo manos articuladas puede evitar el uso de una mayor cantidad de equipos: robots, distintos tipos de garras, sistemas de cambio rápido de garra. La rapidez de ejecución es menor que con métodos tradicionales y puede no lograr las necesidades buscadas. El empleo de garras específicas para cada objeto precisa de un tiempo de desarrollo de la garra, pruebas, ajustes,... y el proceso se repetirá para cada nueva forma de objeto introducida. Estas características limitan su aplicación en el sector hortofrutícola.

Existen numerosas publicaciones en este ámbito. Antonio Bicchi [16] realiza una recopilación del estado del arte de la manipulación robotizada con manos y la tendencia hacia una simplificación del sistema. Máximo Roa, Raúl Suárez y Jodi Cornellà [31] analizan la evolución del control de prensión.

Investigador	Área
Bicchi (2000)	Planificación de prensiones
Bicchi y Kumar (2000)	Tecnología para la construcción de manos mecánicas
Okamura (2000)	Fundamentos matemáticos de la manipulación robótica
Lotti y Vassura (2002)	Análisis del cierre de fuerza y de forma
Tegin y Wikander (2005)	Análisis matemático de las medidas de calidad
Bicchi (2000)	Algoritmos de síntesis de prensiones y medidas de destreza
Bicchi (2000)	Estado del arte en manos mecánicas
Bicchi y Kumar (2000)	Prensión con manos mecánicas
Okamura (2000)	Estado del arte en manipulación diestra
Lotti y Vassura (2002)	Clasificación y evaluación de manos mecánicas
Tegin y Wikander (2005)	Sistemas táctiles para robots

Figura 3.22 Evolución del control de la presión en manos articuladas [31]

Para emplear estos sistemas en la manipulación hortofrutícola el valor que más añaden estos sistemas respecto a otros es la posibilidad de control de presión sobre el objeto. Sin embargo, la complejidad de estos sistemas y su coste presenta una seria limitación aunque existen prototipos [18] que consiguen simplificar notablemente los dedos en teflón y de una sola pieza.



Figura 3.23 Modelo simple de dedos [18]

3.1.2. Mecanismos articulados

Al incrementar la complejidad del producto a manipular son necesarios **mecanismos** más complejos que aumenten los grados de libertad disponibles para adaptarse al producto. El diseño de estos depende de la habilidad del diseñador para encontrar la solución más adecuada. No existen proveedores que tengan estándares sobre los cuales realizar el diseño. El mecanismo muchas veces ayuda a otros sistemas a mejorar sus capacidades para agarrar el producto, por ejemplo, puede conseguir ampliar el esfuerzo realizado en función del tamaño del objeto.

En general los diseños son para un producto concreto, sin embargo, existen mecanismos que flexibles capaces de adaptarse a la forma del objeto. El objetivo de estos es lograr que con un mínimo número de actuadores se consiga una mayor cantidad de movimientos posibles que se adapten a la forma del producto. Hirose-Fukushima Laboratory [19] tiene un modelo que por medio de cables es capaz de adaptarse a la forma del objeto.

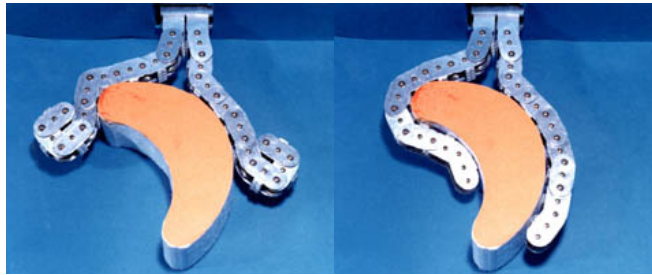


Figura 3.24 Modelo de garra flexible de Hirose-Fukushima Laboratory

Synnelius Engineering AB [20] presenta un mecanismo que permite con un único actuador lineal adaptarse a una variedad de objetos. Las superficies flexibles por contacto pueden diseñarse para que se activen de forma activa o pasiva. Al conectar una serie de barras sin restringir todos los grados de libertad se puede lograr un sistema articulado de forma que al someterlo a una acción determinada su resultante varíe la geometría. Un sistema de estas características, correctamente dimensionado, puede lograr una configuración autoadaptativa a la geometría de la pieza cuando se aplica una fuerza.

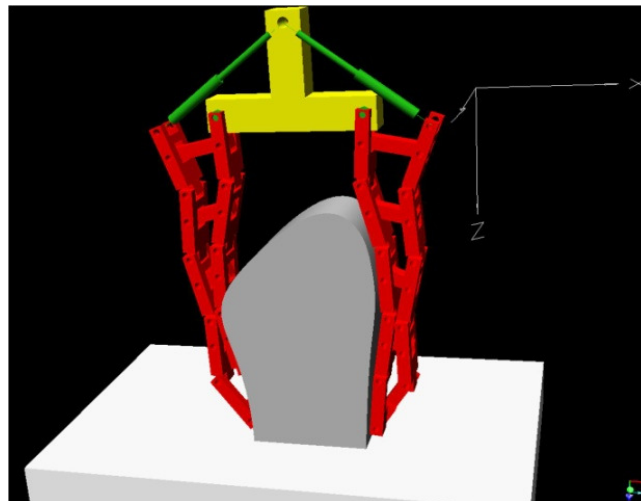


Figura 3.25 Modelo de garra flexible con múltiples barras articuladas [21]

3.1.2.1. Mecanismos reconfigurables

Constituyen una posibilidad para la manipulación de objetos diversos por medio de una reconfiguración del sistema. Para lograr este mayor número de grados de libertad es necesario incrementar la complejidad de la garra y su peso de forma notable. Kolluru R. [22] realizó pruebas por medio de 4 correderas con grupos de ventosas.

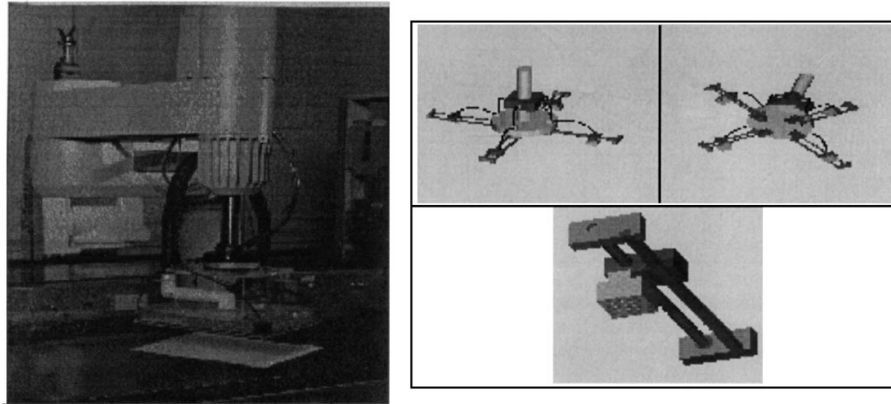


Figura 3.26 Mecanismo reconfigurable de agarre [22]

Benny H. B. [23] presenta un sistema reconfigurable de 6 grados de libertad orientado industria automóvil con pruebas en el área de soldadura.

3.2.3. Ganchos y velcros

Los ganchos son el principal método usado en la manipulación de grandes cargas, la necesidad de tener un sitio por el que colgar la pieza del gancho, la falta de precisión de posición de la pieza y el movimiento libre de esta limita su empleo en robótica. Los velcros son un conjunto de micro ganchos flexibles que trabaja en conjunto. La principal limitación para usar en sistemas robotizado, además de tener el correspondiente velcro en ambas piezas, es la dificultad de dejar el producto.

3.2.3. Clipado

El uso industrial de clips de rápido agarre está muy estandarizado en la industria y constituye uno de los principales medios de fijación de piezas. Actualmente existe una gran variedad de fabricantes que suministra a las más diversas industrias este tipo de clips. Es destacable el uso en automoción donde la rapidez y eficacia de estos sistemas se impone respecto al empleo de los sistemas tradicionales de tornillos y tuercas.

El mayor inconveniente para el uso de estos sistemas radica en el concepto actual de fabricación. Estos clips están orientados al montaje entre piezas pero no a su desmontaje. Este puede ser el principal motivo por el cual en la manipulación robotizada no se ha empleado este método. Por otro lado, para poder emplear un clip el producto necesariamente ha de tener el diseño adecuado. El clip constituye un elemento intrusivo en el objeto, esta intrusión permite aguantar la suficiente fuerza como para poder manipular el objeto.

3.3. Penetración en objeto

Las agujas son el principal medio utilizado para manipulación de materiales que de otra forma serían imposibles de manejar, tales como: planchas de espuma, alfombras, piezas de tela, poliestireno, goma, cartón, fieltro, PVC, mallas, telas metálicas,...

Los pistones se encargan de extender las agujas, de forma cónica, desde el centro para tensar la tela o conseguir agarrar el producto. La profundidad y el grosor de las agujas son clave en función del producto. También el producto define la profundidad de penetración de estas. Cuando la presión se elimina, unos muelles retractiles permiten devolver las agujas a su posición. Algunos modelos disponen de un aire secundario encargado de soplar las capas de tela o pelusas adheridas por cargas estáticas.

En la industria automovilística se usa para insertar piezas de plástico dentro de moldes. Para bollería industrial se emplea en operaciones *Pick & Place* de croissants. Existen estudios para la manipulación y empaquetado de pescado fresco usando este principio junto con la visión artificial. También sobre el empleo de esta tecnología para el pescado congelado. En la manipulación hortofrutícola genera daños en el

producto, se adapta mal a superficies curvas, y presenta el riesgo de contaminación alimentaria si se produce la rotura de alguna aguja.



Figura 3.27 Garra de agujas de Schunk

Ejemplo de manipulación de producto irregular por medio de la combinación de agujas y magnetismo.

Ventajas:

- ✓ Producto estandarizado en el mercado.
- ✓ Posibilidad de regulación en profundidad y grosor de agujas.
- ✓ Capacidad para manipular objetos porosos y flexibles.

Inconvenientes:

- Riesgo de rotura de agujas en manipulación alimentaria. Implica posterior instalación de detección metales.
- Daño en el producto.
- Escasa capacidad de carga (mejorable al aumentar la profundidad de penetración).
- El área de trabajo de las agujas ha de ser capaz de soportar todo el peso y los esfuerzos inerciales buscados.

3.4. Unión química

La fuerza de unión que existe entre átomos, cualquiera que sea su naturaleza, debido a la transferencia total o parcial de electrones para adquirir ambos una configuración electrónica estable, puede ser empleado para manipular objetos.

Aunque el principio de unión química engloba muchos conceptos, los procesos de soldadura y el sistema LAAG pueden considerarse dentro de este grupo para el agarre y manipulación en sistemas robotizados.

3.4.1. Soldadura

El empleo de robots para la realización de procesos de soldadura está ampliamente extendido en el mercado. Actualmente sectores como el automovilístico emplean una gran cantidad de robots con este fin. Por el contrario, el uso del concepto de soldadura como principio de agarre no está difundido. Las dificultades para generar esta unión y posteriormente romperla con el fin de dejar el objeto en el sitio deseado constituyen una barrera que limita la aplicación industrial. Es, relativamente sencillo, realizar soldaduras sobre objetos metálicos y plásticos. La unión precisa, en general, de un aporte de calor y un posterior enfriamiento que requiere un tiempo en función de la cantidad de material de aporte y la capacidad de enfriamiento del medio que le rodea (básicamente gradiente de temperatura y tipo de transmisión de calor; conducción, convección y radiación).

Las principales limitaciones que impiden el desarrollo de este medio en la manipulación robotizada son:

- Alto tiempo de ciclo: calentar, aportar material, enfriar, transporte y rotura del enlace.
- Daña el producto, en metales crea una zona afectada térmicamente.
- Precisa del empleo de materiales soldables (no todos los metales y plásticos admiten este proceso).
- Es difícil transportar la energía de soldadura a la garra.

En la soldadura de plásticos por ultrasonidos o vibración, se emplea un electrodo que contacta y transmite la presión y el movimiento para generar, por medio de fricción,

el suficiente calor como para unir dos piezas de plástico. Este medió no se emplea como sistema de agarre en robots pero constituye un potencial medio de uso para el manejo de plásticos en robótica.

3.4.2. Adhesivos Sistema LAAG (Light Activated Adhesive Gripper)

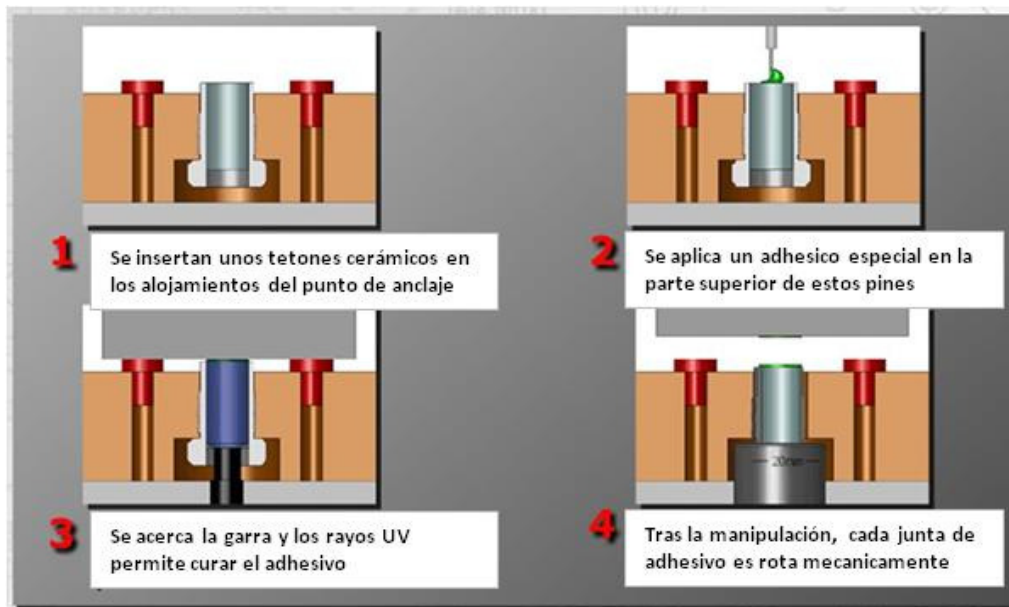


Figura 3.28 Descripción del sistema LAAG

Master Work Holding oferta esta técnica. Es necesario aportar un adhesivo que posteriormente se cura con un laser y también se rompe para soltar la pieza. Esta técnica [24] se emplea para manipulación de fundiciones de geometría compleja y de peso elevado. El tiempo ciclo está en torno a 30 segundos. El elevado tiempo ciclo y la generación de daños en el producto impide su aplicación en el sector hortofrutícola.

3.5. Magnetismo

Se basa en el efecto magnético de atracción o repulsión ante un campo magnético sobre un objeto con permeabilidad magnética. En general se emplean el magnetismo del paso de una corriente. Sirve en la manipulación de objetos magnéticos planos o con formas definidas como tuberías. Es uno de los sistemas principales para la manipulación y agarre de piezas metálicas. Existen numerosas compañías que comercializan este tipo de garras (Sommer, Ima, Schmalz,..). Posee alta capacidad de carga, por ejemplo se emplea para la manipulación de moldes de inyección de plásticos. Es rápido de actuación. Puede estar formado por imanes permanentes o electroimanes teniendo estos una mayor facilidad de control de la carga.

Dentro del empleo con imanes existen combinaciones de sistemas imán con accionamiento neumático. El aire a presión o vacío permite acercar o alejar el imán del objeto esto posibilita el control de imanes permanentes para la manipulación de objetos. Esta solución la aporta el fabricante SCHMALZ.

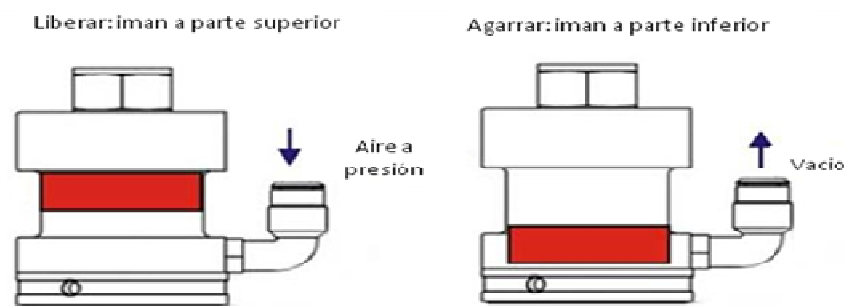


Figura 3.29 Sistema combinado de garra magnética y neumática de Schmalz

3.6. Carga eléctrica

3.6.1. Fuerzas electrostáticas entre piezas

Aprovecha la capacidad de cargarse eléctricamente el objeto a agarrar para conseguir manipularlo. Existen numerosos estudios para la manipulación de pequeños objetos, generalmente de la industria electrónica, biotecnología, nano ingeniería y sistemas Micro-Electro-Mecánicos (MEMS) emplean esta técnica. Según algunos estudios, esta técnica es empleada por las arañas. Estas aprovechan una enorme cantidad de contactos para conseguir soportar hasta 170 veces su propio peso. El agarre se basa en las Fuerzas de van der Waals intermoleculares generadas.

3.7. Fluido

La tensión superficial que genera un fluido se puede aprovechar para generar manipulación. Este proceso adhesivo genera fuerzas de contacto se usa en la industria electrónica. La principal dificultad es liberar el objeto por lo que se precisa un mecanismo específico que cumpla esa función.

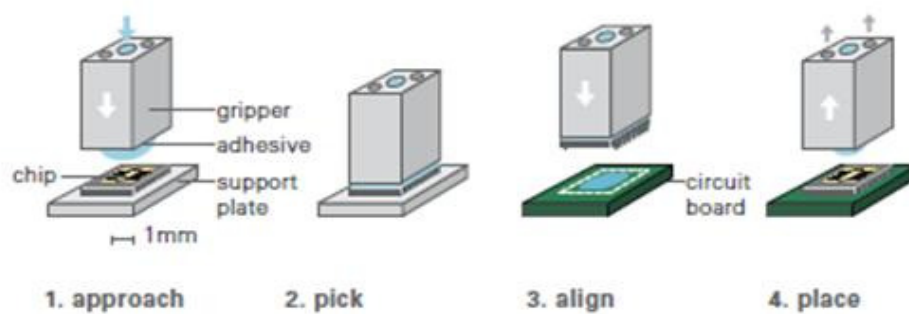


Figura 3.30 Descripción de uso de proceso adhesivo en la industria electrónica

3.7.1. Congelación de vapor Cryo

El sistema Cryo de basa en el principio de adhesión que genera la fuerza entre el objeto y la superficie de contacto por medio de la congelación de de agua. Las moléculas congeladas son las encargadas de generar la adherencia necesaria para la manipulación. Las ventajas de este sistema radica en la posibilidad de manejo de materiales permeables (no permiten el uso de ventosas) y no rígidos. Una boquilla se encarga de proyectar vapor sobre la superficie del objeto. Un sistema de congelación del vapor, a temperaturas de -10°C , y sobre la superficie de agarre, es el encargado de congelar esté. Los vapores congelados son fusionados para pasar a líquido. El aire dispersa el vapor y seca el material al mismo tiempo. Esta operación dura entorno a 1 segundo.

Ventajas:

- ✓ permite manipular materiales permeables.
- ✓ fuerzas de agarre en cualquier dirección.
- ✓ no precisa cambios de ajustes para distintos materiales.
- ✓ Independencia del material a usar.
- ✓ No daña el producto por culpa del agarre.

G. Seliger [25] hace referencia al uso de esta tecnología en la manipulación de tejidos. Kordi MT [26] desarrolló una garra combinada con agujas y sistema Cryo para la manipulación de láminas en textil. El conjunto presenta un sistema multiarticulado para facilitar la adaptación a la forma y el agarre del textil.

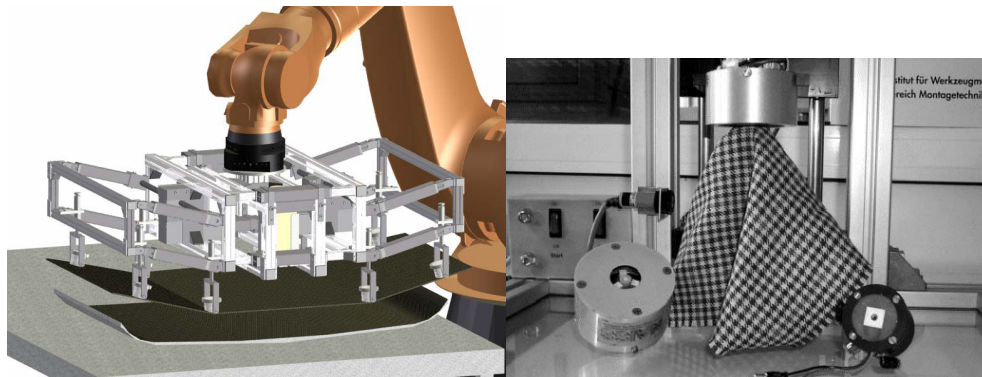


Figura 3.31 Modelo multiarticulado basado en el sistema Cryo [26]

3.4.2. Fluidos magnetoreológicos

La reología es la ciencia encargada de estudiar las propiedades de un fluido. Un fluido magnetoreológico cambia sus propiedades bajo la acción de un campo magnético. El fluido, normalmente un aceite, tiene en suspensión numerosas partículas magnéticas. El campo magnético incrementa la viscosidad del fluido convirtiéndolo en un sólido viscoelástico. Las propiedades se pueden variar al cambiar la intensidad del campo magnético y con ello la transmisión de fuerza del fluido puede ser controlada. Las partículas magnéticas, del orden de micras, están suspendidas aleatoriamente en el fluido. Al aplicar el campo magnético las partículas se alinean. Este movimiento da como resultado una restricción al movimiento del fluido en dirección perpendicular a la dirección del flujo incrementando la viscosidad.

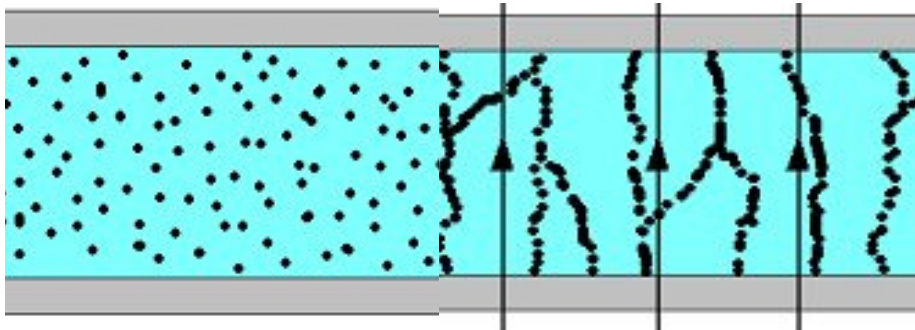


Figura 3.32 Ordenación sufrida por las partículas de un fluido magnetoreológico

El incremento de la resistencia al paso del fluido. Actualmente existen aplicaciones comerciales, en la industria de la automoción, para amortiguadores que consiguen regular la dureza de la suspensión aplicando este principio consiguiendo con ello una suspensión semiactiva. También en Japón se emplean para crear amortiguadores en edificios que resistan terremotos.

Incremento del esfuerzo a cortante. Puede utilizarse para embragues y frenos, existen numerosas patentes que emplean este principio.

Movimiento perpendicular del fluido. Este comportamiento del fluido está en investigación para un amplio rango de aplicaciones entre ellas el uso como sistema de agarre en robots. Actualmente existen patentes [27] que se basan en este principio para conseguir el agarre.

Las especiales características de esta tecnología hace interesante que se considere como potencial sistema de agarre de objetos ya que aporta ventajas como:

- ✓ Capacidad para repartir y controlar esfuerzos de agarre.
- ✓ Rapidez de funcionamiento.
- ✓ Posible adaptación al objeto parametrizando el campo magnético aplicado.

Por el contrario las barreras de este sistema han limitado, hasta la fecha, la aplicación industrial por:

- Sistema complejo y pesado.
- Posible fuga de líquido y contaminación del producto.

3.8. Propiedades físicas del objeto

Únicamente basándose en las propiedades del objeto no es posible conseguir el agarre de objetos. Normalmente se piensa en robots que agarren los objetos pero muchas veces esto no es necesario para conseguir la manipulación final deseada. El simple ejemplo de cómo coger monedas de una mesa por medio del arrastre de ellas agrupándolas constituye una manipulación completa sin agarre. Al evitar el agarre se limitan las amplias posibilidades de este método siendo éste, a veces, el único medio para lograr la orientación espacial final deseada. Por el contrario, determinados objetos en los cuales la posición final buscada es muy estable, es fácil conseguir su manipulación evitando el agarre en todo momento.

3.8.1. Caída o gravedad

Consiste en el aprovechamiento de los efectos inerciales y gravitatorios para lograr la posición final del objeto. Por este medio se consigue evitar la implementación de métodos más complicados de manipulación evitando el agarre del objeto y simplificando el montaje final, sin embargo muchas veces no es posible desarrollar una manipulación aprovechando solo estos efectos. En realidad este método de manipulación esta notablemente extendido, se emplea desde el simple llenado del

depósito de gasolina de un vehículo hasta sofisticados sistemas de clasificación de productos en cosechadoras.

Para poder emplear esta técnica es necesario:

- Tener objetos de formas, pesos, y resistencia estructural adecuada para permitir esta manipulación con movimientos bruscos.
- Repetitividad de objetos a manipular. La instalación se adecua a objetos concretos y la variación de alguna de sus características hace que la posición final del objeto no sea la deseada.
- Favorecen las simetrías del objeto. El ejemplo extremo es el de una pelota que siempre consigue la orientación adecuada respecto a un observador fijo
- Favorece la desviación exagerada del centro de gravedad respecto al centro dimensional del objeto.

3.8.2. Apilar o empujar

Apilar objetos para una manipulación conjunta constituye uno de los métodos multi pick empleados en la industria. Robomotion utiliza la técnica con una pinza para manipular diversos tipos de productos alimentarios.

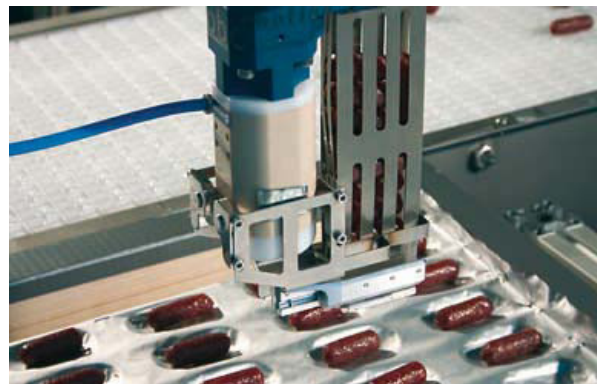


Figura 3.33 Sistema de garra multi-pick por apilación de Robomotion

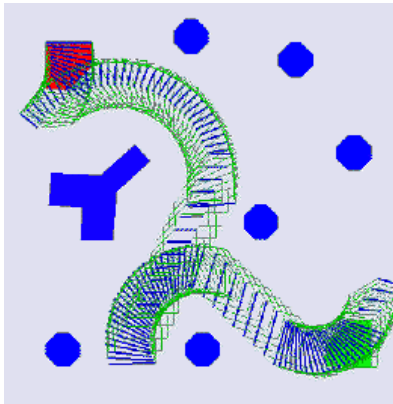


Figura 3.34 The Manipulation Lab. Sistema de manipulación por empuje.

La manipulación por empuje presenta las ventajas de no necesitar agarrar, no precisa de un alto número de grados de libertad del robot y el objeto puede llegar a tener formas dispares. Por el contrario, la complejidad de estudio del movimiento [28] y la rapidez de ejecución pueden limitar las posibilidades de uso.

3.8.3. Dinámica

Esta técnica es muchas veces empleada por el hombre. La destreza del operador es imprescindible para conseguir el resultado final deseado, es por ello necesario que tanto el cálculo de la acción como la rápida ejecución del mismo sean condiciones necesarias para lograr el objetivo final. Las principales operaciones que se pueden realizar se resumen en, rotar, trasladar, girar y dejar.

La rotación sobre la pala, el giro brusco de esta con un movimiento lento de retorno consigue rotar el objeto, este efecto se puede ver beneficiado del acompañamiento de un movimiento vertical para limitar la fuerza de rozamiento entre objeto y pala.

La traslación, la adherencia entre objeto y pala ante movimientos vibratorios permite un máximo de frecuencia a partir de la cual el objeto desliza. Si el movimiento de ida es a mayor velocidad que el de vuelta se consigue trasladar el objeto.

El giro sobre si mismo precisa de lanzar el objeto con una componente de vertical acompañada de otra rotatoria sobre el eje de la pieza sobre la que se pretende girar.

Para posar el objeto es necesario agitar la pala que, estando inclinada, consigue vencer la adherencia del objeto a esta.

Este tipo de manipulación puede conseguir mover productos frágiles y/o grandes evitando el contacto por agarre. Es necesario el empleo de sistemas de visión artificial para lograr corregir los errores de posición del objeto debido a la no uniformidad del rozamiento lo que provoca un desfase entre el movimiento real y el calculado. Precisa una alta ejecución del movimiento para lograr la posición final deseada.

En el área de la investigación existen manipuladores con un grado de libertad [29] sobre objetos poligonales. . A. Amagai [30] describe cómo conseguir manipulación dinámica tipo *Pick & Place* sin agarre y sobre una superficie plana. R. Balasubramanian [31] consigue llevar a un pequeño robot aprovechándose de la dinámica de este al generar en él movimientos internos.

3.8.3.1. Recoger

Recoger el producto constituye un caso particular de la manipulación dinámica muy extendido en la industria. Es necesario que el valor de rozamiento entre la pala y el objeto sea menor que entre este y la superficie de reposo además de un movimiento muy rápido de la pala para aprovechar los efectos dinámicos que permite mantener el objeto en la posición inicial.

El sistema facilita la manipulación de objetos delicados y de distintos tamaños evitando el agarre del producto. La incertidumbre de posición y la dificultad de permitir movimientos bruscos limitan su implantación. En el sector alimentario M. Foglia y G. Reina [32] presentan un sistema de recolección de lombardas que encierran el producto entre dos cazoletas que al mismo tiempo sirven para cortar su raíz. Para productos en lonchas Marel [33] presenta varias soluciones que usan el principio de recoger como solución *Pick & Place* de alta velocidad.

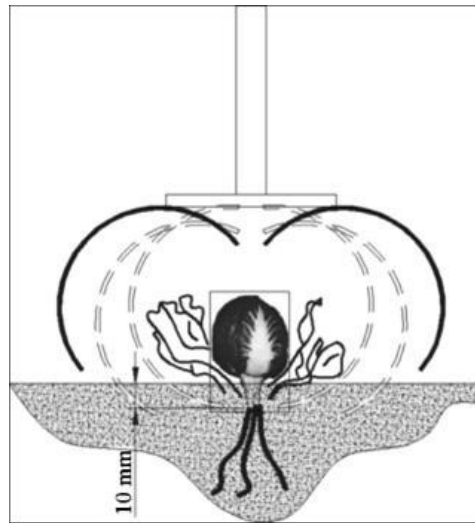


Figura 3.35 Garra para la recolección de lombardas [32]

3.8.4. Vibración

Es un método empleado en la industria para posicionar objetos. Por vibración se consiguen clasificar y transportar numerosos objetos como pueden ser frutos secos o aceitunas, clasificar y separar productos o para conseguir potenciar los efectos dinámicos sobre los estáticos como en las apisonadoras o en la perforación por empotramiento de tuberías en pilotes de obras públicas.

En este campo destacan las investigaciones de “*The Manipulation Lab*” de la Universidad de Pittsburgh con modelos de manipulación por vibración por medio de la oscilación controlada de las ruedas de un vehículo.

3.8.5. Abrazar

Si se rodea el objeto por un objeto por un lazo este puede ser empleado para facilitar un medio con el que realizar la manipulación del mismo. La capacidad de carga en tensión de este sistema es muy elevada por lo que las cargas también pueden incrementarse notablemente con mejoras de las características del material que abraza al objeto. Por medio de este sistema se pueden manipular objetos irregulares

ya que el lazo no distingue la superficie a la cual se adapta. Las restricciones a este respecto vienen dadas por la capacidad de compresión que es capaz de aguantar el objeto. En función de la tensión que se aplique al lazo se puede incrementar la capacidad para aguantar mayores esfuerzos y/o aceleraciones.

Kuka Inno Tec ha desarrollado esta técnica para la manipulación de maletas de distintos tamaños, pesos y formas. Los lazos son guiados por correderas a ambos lados para evitar que estos deslicen hacia el exterior de la maleta. Posteriormente se tensan agarrar el objeto y transportarlo y, cortan para liberar el objeto



Figura 3.36 Garra para la manipulación de maletas de Kuka Inno Tec

La patente [34] muestra un sistema de agarre por manipulación de productos delicados. Las dos cintas se mueven independientemente permitiendo también orientar el producto.

3.9. Levitación

Un cuerpo levita cuando se mantiene en flotación sin ningún aporte de material aparente. La fuerza contra-gravitatoria es repulsiva para lograr que un cuerpo levite, también se puede lograr por medio de una fuerza de atracción que logre vencer la gravitatoria en este caso el objeto permanece en suspensión. La principal dificultad está en lograr levitar objetos independientemente de su forma y sin complejos sistemas de control activo. Los sistemas de levitación se adaptan bien a la manipulación de micro objetos de escaso peso en donde las fuerzas de adhesión son importantes estas pueden ser por tensión superficial (recubrimiento superficial), electrostática (conductividad eléctrica), F de van der Waals (rugosidad). V. Vandaele [35] clasifica los diversos tipos de levitación:

3.9.1. Levitación aerodinámica

Emplea la presión de un fluido, gas o líquido, para lograr contrarrestar la fuerza gravitatoria. Se emplea en overcrafts, cojinetes neumáticos, máquinas de control dimensional.

3.9.2. Levitación electrostática

Campos eléctricos estáticos son los encargados de sustentar el objeto cargado eléctricamente.

3.9.3. Levitación electrodinámica

Partículas cargadas se sostienen por medio de la combinación de campos eléctricos estáticos y dinámicos. La manipulación se limita a partículas pequeñas. El proceso es inestable.

3.9.4. Levitación óptica

La fuerza procede de una transferencia de momentos fotónicos. Experimentalmente se ha logrado manipular esferas dieléctricas de hasta 50 micras.

3.9.5. Levitación acústica

La presión acústica procede de intensas ondas sonoras. La máxima capacidad es de unos pocos kilogramos. La Universidad Politécnica del Noroeste de Xi'an ha realizado con éxito experimentos para hacer levitar pequeños animales (hormigas, arañas, renacuajos y peces) logrando levitaciones de un par de centímetros.

3.9.6. Levitación magnética

En este caso las fuerzas proceden de un campo de origen magnético generado por imanes permanentes, electroimanes o superconductores magnéticos. Se aprovecha la repulsión de polos de imanes de mismo signo. La mayor dificultad es lograr evitar situaciones de equilibrio inestable por lo que es imprescindible usar bucles de control. La aplicación industrial más relevante es el tren maglev. Precisa de materiales con alta conductividad eléctrica, no presenta limitaciones en la forma y tamaño del objeto.

3.9.7. Levitación superconductora

J. A. Díaz García [36] ha realizado una tesis doctoral al respecto. El estado superconductor es aquel en el que se encuentran algunos materiales, entre ellos diversos elementos, para temperaturas menores que una temperatura crítica, T_C , y campos magnéticos inferiores a ciertos valores críticos. Las dos características visibles más importantes de este estado son la ausencia total de resistencia eléctrica, y el perfecto diamagnetismo, ya que al enfriar el material en un campo magnético no muy elevado, éste es expulsado del interior a T_C . Hoy por hoy, el principal impedimento reside en las bajas temperaturas necesarias para alcanzar el estado superconductor.

Capítulo 4. Diseño de garras para robots en *Pick & Place* hortofrutícola

4.1. Situación actual en el diseño de garras

La industria hortofrutícola es susceptible de automatización para operaciones de *Pick & Place*. Sin embargo, las limitaciones principales son el diseño de sistemas de agarre (“garras”) que permitan manipular estos objetos. A las características especiales de estos productos, se une la necesidad de ciclos cortos de manipulación para poder rentabilizar la instalación.

El peso contenido de los objetos hace posible facilitar movimientos con altas aceleraciones, por el contrario sus características no permiten altas presiones para realizar el agarre por lo que el diseño del sistema de agarre debe lograr soportar esos esfuerzos de altas aceleraciones del objeto sin causar daños en él. También este sistema no puede ser excesivamente pesado pues empeora los esfuerzos inerciales que el robot tiene que soportar. Estas razones hacen su diseño crítico.

Una alternativa a la estrategia de rápidos movimientos con una única pieza es el agarre múltiple. La garra manipula varias unidades a la vez optimizando los desplazamientos y reduciendo el tiempo ciclo por pieza. La garra aumenta su peso y dimensiones y el robot debe ser capaz de manipular mayores pesos por lo que las aceleraciones no pueden ser tan altas como en manipulaciones unitarias.

Para lograr una rápida respuesta de funcionamiento, la garra debe ser capaz de agarrar y dejar el producto con rapidez pero sin dañarlo. Durante el agarre se deben de minimizar los movimientos necesarios a realizar. La garra debe de adaptarse lo máximo posible al producto para evitar concentrar esfuerzos que provoque daños en la pieza. La fase de suelta se puede beneficiar de la incorporación de expulsores que faciliten la tarea, sobre todo en objetos de escaso peso. El peso del conjunto debe ser contenido facilitando la posibilidad de ejecución de rápidos movimientos. Para lograr una perfecta integración del equipo de agarre DT. Pham [37] muestra factores que influyen en la selección del sistema de agarre.

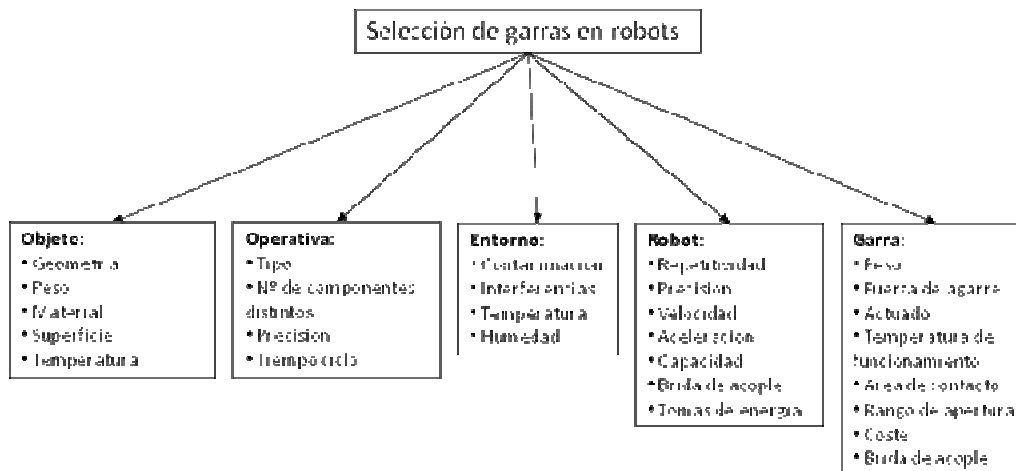


Figura 4.1 Factores que afectan a la selección de garras para robots [37]

La imposibilidad de encontrar una solución ideal en todos los ámbitos hace necesario la búsqueda de soluciones de compromiso.

El mismo autor analiza la selección de garras, basadas en fuerzas de contacto, para manipular diversos tipos de objetos:

1. Modificaciones en los dedos de la garra para lograr una mayor adaptación a la forma del objeto.
2. Cambio de los dedos en función del tipo de objeto a manipular.
3. Cambio de garra por medio de un sistema rápido de cambio de herramienta.
4. Empleo de varias garras a la vez en el robot.
5. Empleo de sistemas de manos articuladas.

Estos puntos buscan en aumentar en número de grados de libertad de los dedos que toman contacto con el objeto para lograr una mayor adaptación a la diversidad de formas de los productos. Esta circunstancia es especialmente útil en los productos hortofrutícolas.

A la variabilidad de formas se añade la dificultad de flexibilidad del objeto. Paul M. Taylor [38] estudia diversos tipos de garras para la manipulación de objetos flexibles. El artículo muestra, para productos alimentarios, las posibilidades de uso sistemas de basados en enrollar el producto (para la lasaña) y de espumas entre el dedo y el objeto para garras basadas en el contacto (para el tomate). Una de las grandes limitaciones en el uso de espumas en los dedos en contacto con el producto es la falta de capacidad del contacto aunque hay algunos estudios al respecto (Hua Lin [39]). También son limitaciones, la durabilidad, homologación para contacto alimentario e

higiene. Mozafar Saadat [40] revisa 96 publicaciones para la manipulación de objetos flexibles haciendo notar que la mayoría se concentran en la manipulación de objetos planos. Divide la manipulación en planos, líneas y 3D.

Steve Davis [41] analiza con detalle el proceso de enrollar productos alimenticios con robots y presenta un sistema basado en el método de recoger el producto para la manipulación de lonchas de pan.

Peter J. Wallin [42] también revisa la situación de la robotica en la industria alimentaria comparándola con otros sectores y analizando la gran oportunidad en este sector P.Y. Chua [43] analizó la manipulación con robots para el sector alimentario caracterizado por la falta de rigidez del producto. Para sistemas basados en contacto se busca una superficie intermedia entre el dedo de la garra y el objeto para evitar el daño. Los intrusivos como agujas son descartados por daños en el producto. Las ventosas son proclives a la contaminación del sistema de succión y la dificultad de ser usadas en productos maduros de baja rigidez, dejando estos sistemas para la recolección. También muestra los progresos en investigación para la manipulación con dedos de goma, garras de Bernoulli y mecanismos de recolección.

La complejidad de manipulación de cualquier gama de productos hortofrutícolas hace muchas veces necesario el desarrollo complejos sistemas mecánicos fuera de las soluciones estándar que presentan los fabricantes. Moulianitis [44] emplea un software para el diseño de sistemas de garras en robots. Este incremento [45] en la complejidad conlleva a analizar algunos aspectos críticos:

- Coste y financiación del proyecto.
- Volumen productivo.
- Grado de desarrollo de esta tecnología.
- Grado de personalización de los componentes y del sistema final.
- Cantidad de componentes.
- Relación del usuario final con la tecnología y solución propuesta.
- Cambios e incertidumbres en las necesidades del usuario.

R. Saravanan [46] consigue implementar técnicas de dimensionado de sistema mecánicos para la optimización dimensional de pinzas de agarre por medio de un sistema multicriterio de selección.

Es muy fácil comprender la dificultad de encontrar el diseño más adecuado para el diseño de garras en *Pick & Place* para el sector hortofrutícola. Todos los estudios previos apuntan a la necesidad de considerar múltiples variables que van más allá del

simple diseño de un mecanismo que logre agarrar el producto. Hay investigaciones [47] que se centran en el diseño de complejos sistemas con sensores y mecanismos de control que permiten manipular objetos no rígidos. Otras se inclinan por sistemas rápidos [48] para la manipulación en el sector alimentario en operaciones *Pick & Place*. La evolución de los robots [49] de cadena cerrada, como el Flex Picker de ABB y la liberación de esta patente está abriendo nuevas posibilidades de manipulación a velocidades impensables hasta hace pocos años. Esto implica una mayor responsabilidad del sistema de agarre para lograr su misión a altas aceleraciones sin dañar el producto.

4.2. Diseño de garras en *Pick & Place* hortofrutícola

Las posibilidades y metodologías de diseño de garras con robots son muy variadas, cada una de ellas presentan diversos puntos de vista y matices que difícilmente se pueden aplicar con claridad al caso de *Pick & Place* en productos hortofrutícolas. Por el contrario, todas ellas presentan en común la necesidad de considerar múltiples factores de diversa índole fuera del mero planteamiento de la garra en sí.

Para desarrollar el diseño de una garra en esta área se han empleado una serie de preguntas que aportan ideas concretas fácilmente resolubles. Al reunir todas ellas en un conjunto de necesidades, aportaciones y restricciones se consigue desarrollar el diseño final de la garra. Las preguntas están sacadas y adaptadas del libro *Robot Grippers* [50]. El método es un proceso cíclico en búsqueda de una solución de compromiso. Las conclusiones de las ideas más importantes, o que más valor aportan, de cada punto, están remarcadas en negrita y son la base del desarrollo planteado.

Para poder concluir con algún resultado se han realizado múltiples hipótesis difíciles de resolver si no se conoce el caso concreto de la célula de fabricación donde se aplica. Las necesidades de manipulación también constituyen una parte fundamental que condiciona notablemente la garra final, estas también se han estimado de forma lógica para conseguir un resultado.

El desarrollo pretende ser didáctico y constituye una base de información e ideas para futuros nuevos productos. Muchas de las ideas, que son consecuencia lógica, han sido reflejadas y desarrolladas para incrementar el valor didáctico del documento.

Para la ejecución de este informe se ha seleccionado el pepino holandés como modelo a partir del cual realizar el diseño. Dada la variabilidad de las características de los pepinos y para conseguir conclusiones claras el estudio se centra en varios modelos escaneados en 3D sobre los que trabajar. Busca con ellos conseguir con éxito la manipulación final no sin olvidar la posibilidad de adaptación a nuevas formas y volúmenes que estos pueden presentar. La selección de este método permite ir de lo abstracto a lo concreto para luego retomar la posibilidad de extrapolación a nuevos productos.

Los principios fundamentales sobre los que se basa el diseño son:

- **Fiabilidad:** si no se consigue manipular con éxito el producto se incurre en costes inasumibles en una situación de mercado.
- **Robustez:** el coste del producto es reducido por lo que la autonomía y la cantidad de ciclos que debe soportar la garra sin asistencia debe ser alto.
- **Sencillez:** el empleo de las tecnologías existentes permite el uso de estándares con la consecuente reducción de costes y la mayor facilidad de desarrollo y fabricación.

1) Caracterización del producto

Las propiedades físicas generales del objeto y otros parámetros que, sin tener en apariencia influencia, pueden influir para el desarrollo del diseño de un sistema de agarre. Se incluyen en este aspecto cuestiones relativas a especificaciones comerciales y requisitos para conseguir la calidad final del producto. La idea es Conocer suficientemente las características del objeto; masa, tamaño, superficie, fragilidad, textura.

Pepino largo (“tipo holandés” *Cucumis sativus*). Variedades cuyos frutos superan los 25 cm de longitud, ginoicas, de frutos totalmente partenocárpicos y de piel lisa, más o menos asurcada. El tamaño de las hojas es mucho más grande. Para el consumo en fresco, los diferentes cultivares de pepino alcanzan varios tamaños cuando han llegado a la madurez comercial. El rango fluctúa entre 20 y 30 cm de largo y 3 a 6 cm de diámetro. El color del fruto depende del cultivar, sin embargo, debe ser verde oscuro o verde, sin signos de amarillos. El fruto es pepónide áspero o liso dependiendo de la variedad que va desde un color verde claro, pasando por un verde

oscuro hasta alcanzar un color amarillento cuando está totalmente maduro, su recolección se realiza antes de su madurez fisiológica. La normativa les aplica en términos de calidad, calibrado y presentación. Para el pepino holandés o calabacín se rigen por normas comunitarias [51].

1. Calidad.

A) Requisitos mínimos.

Tomando en consideración las disposiciones especiales previstas para cada categoría y los límites de tolerancia permitidos, los pepinos de todas las categorías deben:

- Estar enteros.
- Estar sanos; se excluyen los productos podridos o que presenten otras alteraciones que los hagan impropios para el consumo.
- Presentar un aspecto fresco.
- Estar firmes.
- Estar limpios, prácticamente exentos de materias extrañas visibles.
- Prácticamente exentos de parásitos.
- Prácticamente exentos de daños causados por parásitos.
- Estar exentos de humedad exterior anormal.
- Estar exentos de olores y/o sabores extraños.

Los pepinos deben haber alcanzado un desarrollo suficiente, pero deben tener las semillas todavía tiernas. El estado del producto debe ser tal que le permita, soportar el transporte y la manipulación y llegar en condiciones satisfactorias al lugar de destino.

B) Clases comerciales.

- Clase I

Los pepinos clasificados en esta clase deben ser de buena calidad y presentar todas las características típicas de la variedad:

- Estar bien desarrollados.
- Tener la coloración típica de la variedad.
- Estar exentos de defectos, incluida cualquier deformación, en especial las debidas al desarrollo de las semillas.
- Haber alcanzado un desarrollo suficiente.

- Estar bastante bien formados y prácticamente rectos (altura máxima de arco: 10 mm por cada 10 cm de longitud del pepino).
 - Se admiten los defectos siguientes:
 - Una ligera deformación, con la exclusión de la debida al desarrollo de las semillas.
 - Un ligero defecto de coloración, en especial la coloración clara de la parte del pepino que haya estado en contacto con el suelo durante el crecimiento.
 - Ligeros defectos de la epidermis debidos al roce, a la manipulación o a las bajas temperaturas, siempre que estén cicatrizados y no afecten a la conservación del producto.
- Clase II

Esta clase comprende los pepinos que no pueden clasificarse en la clase I, pero que presentan las características mínimas anteriormente definidas. No obstante, pueden presentar los siguientes defectos:

- Deformaciones que no sean debidas a un desarrollo avanzado de las semillas.
- Defectos de coloración que se extiendan como máximo a un tercio de la superficie.
- Heridas cicatrizadas.
- Ligeros daños causados por el roce o la manipulación que no afecten seriamente a la conservación del producto ni a su aspecto.

En el caso de los pepinos rectos y ligeramente curvados se admiten todos los defectos citados anteriormente. Por el contrario, los pepinos curvados sólo se admiten cuando presentan muy leves defectos de coloración, pero ningún otro defecto o deformación que no sea la propia curvatura. Los pepinos ligeramente curvados pueden tener una altura máxima del arco de 20 mm por cada 10 cm de longitud del pepino. Los pepinos curvados pueden tener una altura de arco superior y deben acondicionarse aparte.

C) Tolerancias de calidad.

- Clase I.

Un 10% en número de pepinos que no correspondan a las características de la Clase, pero que se ajusten a las de la Clase II o que se admitan excepcionalmente en las tolerancias de dicha Clase.

- Clase II.

Un 10% en número de pepinos que no correspondan a las características de la Clase ni a los requisitos mínimos de las características de calidad, con excepción de los productos podridos o que presenten cualquier otra alteración que los haga impropios para el consumo.

2. Características al calibrado.

El calibrado se determinará por el peso unitario. Las disposiciones relativas al calibrado no se aplicarán a los pepinos «tipo corto» y «tipo francés». Para pepinos largos variedad tipo Holandés:

- El peso mínimo de los pepinos se fija en 250 gramos y el máximo de 800 gramos.
- Los pepinos de la Clases «I» deberán tener, además:
 - Una longitud mínima de 25 cm en el caso de los pepinos que pesen, como mínimo, 500 gramos.
 - Una longitud mínima de 20 cm en el caso de los pepinos cuyo peso esté comprendido entre 250 y 500 gramos.

Tolerancias de calibre.

Para todas las Clases: un 10% en número de pepinos que no se ajusten a las normas fijadas para el calibrado. No obstante, esta tolerancia sólo es aplicable a los productos cuyas dimensiones y peso se desvíen, como máximo, un 10% de los límites fijados.

3. Características de la presentación.

- Homogeneidad.

El contenido de cada envase deberá ser homogéneo, incluyendo únicamente pepinos del mismo origen, variedad o tipo comercial, calidad y, en su caso, calibre.

- Acondicionamiento.

El producto se colocará dentro del envase de forma que no sufra golpes, que no sobresalga de la altura de la caja (no se permitirán los colmados) y así mismo, el producto estará colocado en la caja de forma homogénea. La parte visible del contenido del envase tendrá que ser representativa del conjunto.

- Identificación.

En los centros de recepción o lugares de venta al por mayor y antes de ser expuestos para la venta, puestos en venta, vendidos, entregados o comercializados de cualquier otra forma por el productor, se identificarán: Cada uno de los envases, de manera que puedan establecerse la trazabilidad del producto (código de identificación de la unidad homogénea de cultivo). No será necesario identificar los envases, pero si las partidas, cuando tengan como destino el centro de manipulado propio. Las partidas, se identificarán con la información siguiente del tipo de producto:

- Producto.
- Tipo comercial y en su caso variedad.
- Clase.
- Calibre en su caso/sin calibrar.
- Código trazabilidad (Unidad de tratamiento de cultivo homogéneo).
- Origen (País y, en su caso, zona de producción, denominación regional o local).

Por el contrario existe una norma europea [52] que afirma la factibilidad de la venta de pepinos curvos a partir del 1 de julio de 2009.

Desde el punto de vista de las propiedades mecánicas es notable la ausencia de datos que se disponen. Parámetros como la resistencia a fluencia, carga de rotura, modulo elasticidad o coeficiente de Poisson son obvios en los materiales “clásicos” donde las propiedades de los objetos y su comportamiento está bien definido. Los productos hortofrutícolas no solo presentan dificultades a la hora de conocer esos parámetros estructurales básicos si no que su comportamiento difícilmente se puede cotejar con el comportamiento de materiales “clásicos”, es más, propiedades como la humedad relativa, la temperatura, el grado de madurez, turgencia,... influyen notablemente en sus características mecánicas.

El consumidor reclama también otros parámetros de calidad (texturas, aromas, dureza, firmeza, sabor, color,...) que son muy valorados. Muchos de estos se pueden cuantificar por medio de ensayos destructivos por lo que el muestreo es método empleado para caracterizar al lote. La industria dispone de equipos específicos para evaluar las características de productos vegetales (Stable Micro Systems). Desde el punto de vista del diseño mecánico la firmeza es el principal parámetro usado. Se puede determinar mediante:

- Durómetros:

Miden la deformación, de forma no destructiva, por medio del desplazamiento de una bola o cilindro muy pequeño sobre el fruto.

- Penetrómetro manual Magness-Taylor:

Es un método destructivo que evalúa la penetración de una barra de 7,9 mm de diámetro a 10mm/min hasta que esta ha penetrado 6mm. El ensayo se realiza sobre la pulpa de la fruta tras quitar la piel. Este ensayo está reconocido y da buenos resultados en productos más blandos. Busca la correlación entre la fuerza y deformación. El ensayo se puede realizar con una máquina universal de Instron.

- Equipos de impacto:

Son métodos no destructivos que consiguen determinar la aceleración y deformación en la zona de impacto. C. Jaren [53] propone un nuevo método no destructivo de verificación de frutas por medio de un equipo de impacto basado en una mejora del desarrollado por Chen (1985). Una barra de acero de 50 g con punta esférica se deja caer desde 3 o 4 cm, se coloca un acelerómetro en esta y se analiza, vía software, los parámetros del impacto según la teoría elástica del contacto. El impactador lateral es una variante menos estandarizada en el mercado pero con posibilidad de uso en líneas comerciales para separar la fruta en función su firmeza. De todos los datos posibles los de mayor uso para caracterizar el fruto son la aceleración máxima y el tiempo del impacto. Diezma, B [54].

- Texturómetros:

Se puede realizar por medio del ensayo Magness-Taylor o por medio de otros específicos de compresión, corte,...

Existen algunos métodos no destructivos de evaluación de la calidad en frutas y vegetales (Shayam Narayan y Takahisa, [55]) como; resonancia magnética nuclear para la determinación del contenido en humedad, ratio agua/grasa, madurez; tomografía por Rayos-X para la calidad interna del producto; espectroscopia de infrarrojo cercano para la composición; técnicas de fluorescencia para detectar la frescura de productos agrícolas; reflexión espectral en el rango visible para determinar el grosor de la piel;... El principal inconveniente de estos métodos es la complejidad de sensores, el tiempo de procesado, el coste y complejidad de los equipos para la industrialización a escala. Por medio de análisis dinámico en productos sólidos se pueden calcular las frecuencias resonantes, el módulo de elasticidad dinámico y la fricción interna en el producto (M. Rao [56]).

Para el caso del pimiento F.J. García Ramos [57] realizó una evaluación de la máxima aceleración admisible para líneas de clasificación de pimientos. Fijaron un valor de 50g junto con un cambio de velocidad de 1,1 m/s genera daños visibles. Para este estudio emplearon la esfera IS 100.

La capacidad de absorción de impactos frente al daño producido en el producto o magulladura producida, es función también de las características del producto: turgor, temperatura, radio del producto, masa, contenido en agua... Al disminuir el turgor se reduce el modulo de elasticidad por lo que la fuerza se distribuye a lo largo de una mayor área reduciendo el valor de la tensión alcanzada pero hace disminuir la tensión límite para alcanzar la magulladura. A. L. Baritelle [58] realizaron ensayos con la manzana, pera y patata para correlacionar estos datos con la tensión límite para magulladura.

Para poder analizar las presiones generadas durante el contacto hay que tener en cuenta que los vegetales presentan comportamiento visco elástico por lo que la deformación es función del tiempo de aplicación de la carga. Considerando el fruto como un sólido elástico por medio de la teoría de Hertz se puede determinar el campo de presión en el contacto. Bajo estas hipótesis la tensión normal media en la zona del contacto aumenta:

- Con el módulo de elasticidad.
- Cuanto menores son los radios de curvatura de los cuerpos en contacto.
- Al aumentar la velocidad relativa entre los cuerpos.
- Al aumentar la masa de los cuerpos.

Existen modelos que tratan de emplear este modelo en frutas para la determinación de los parámetros estructurales de estas dando resultados negativos en los cálculos concluyendo que es necesario considerar el comportamiento viscoelástico del modelo (Mercado, J. [59]). La componente viscosa del fruto aumenta con la madurez del fruto.

E. Dintwa [60] ha realizado ensayos de colisión dinámica entre manzanas por medio de elementos finitos. El ensayo muestra errores probablemente debidos a la falta de modelización del coeficiente de restitución cuyo valor disminuye al cuando se incrementa la velocidad de la colisión. Este efecto junto con la disipación de energía por las tensiones de relajación acumula errores en la solución final.

2) Determinación de la accesibilidad del objeto

No solo las características del objeto son imprescindibles para determinar la garra, el empleo de uno u otro tipo de garra puede estar definido en función de cómo se suministra el objeto. Existen dos grandes grupos:

- Suministro aleatorio.

Este sistema implica una mayor complejidad al tener que orientarse antes de agarrar el objeto, implicaría una mayor flexibilidad del conjunto y un sistema que capaz de indicar el orden de la manipulación. Hay varias posibilidades:

- Productos amontonados entre ellos o separados.
- Ubicación espacial o sobre un plano.

- Suministro ordenado

Facilita notablemente la tarea de manipulación reduciendo la complejidad. Posibilidades:

- Productos se tocan entre ellos o están separados.
- Ubicación espacial por capas o una única capa.

La separación entre productos define las posibilidades de uso de garras angulares frente a paralelas. Si los productos se tocan es necesario usar sistemas que solo necesiten acceso a la cara superior como pueden ser ventosas, agujas o adhesivos.

Para este caso se decide por un **suministro ordenado y separado**, por medio de una cinta transportadora, ello facilita el diseño que posteriormente se puede revisar para el caso de otro tipo distinto de suministro.

3) Definición de la operativa a realizar

Básicamente es necesario determinar la cinemática, la dinámica y la precisión al manipular el objeto. Según se cambie la orientación del objeto, aumente su aceleración y precisión final e inicial se incrementan las necesidades que ha de cumplir el sistema de agarre. En este apartado es preciso conocer el área de trabajo y las necesidades buscadas en la manipulación.

El objetivo buscado para este caso es la selección del objeto sobre la cinta móvil para su posterior colocación ordenada en una bandeja situada en un plano paralelo ubicado 50 mm por encima del plano de suministro. Las bandejas presentaran un reborde en altura de unos 20mm. La carencia buscada es de 1 pepino por segundo con un desplazamiento entre el punto de suministro y la bandeja final de entre 30 y 70 cm. El producto se suministra en la misma orientación que se ha de dejar en la bandeja de recepción. Los productos se depositarán de forma paralela tratando de dejar el mínimo espacio entre ellos. La bandeja se encuentra colocada en posiciones fijas retirándose cuando esta completa.

Como consecuencia de la operativa de la bandeja el espacio disponible en uno de los laterales del objeto esta notablemente reducido al tratar de dejar los objetos en contacto. Esto supone una limitación caso de seleccionar un sistema de garras al no poder usar un sistema pivotante que requiere mayor espacio en la operativa.

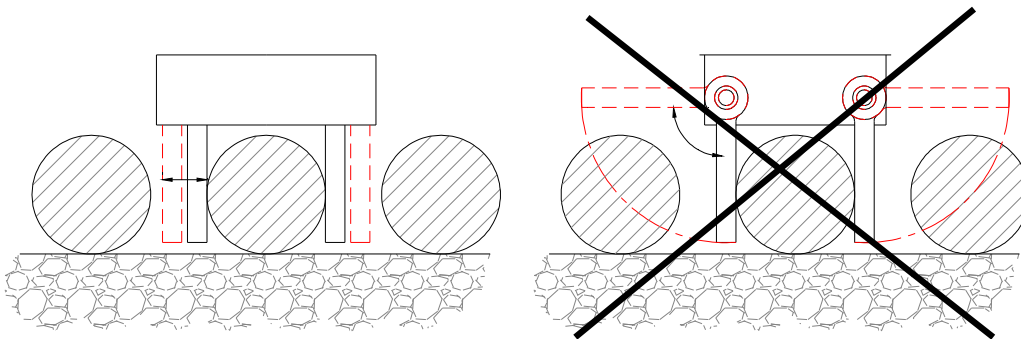


Figura 4.2 Influencia del tipo de garra con la distribución del producto

4) Búsqueda de garras estándar

Dada la proliferación de los sistemas de agarre por ventosas y por garras de contacto el ejercicio se centra en buscar soluciones comerciales que directamente puedan satisfacer las necesidades creadas.

Partiendo de la aplicación *gripper selection tool* de Festo y partiendo de los datos; peso 0,5Kg, longitud pinza 80mm, carrera 80mm y precisión $< 0,1\text{mm}$, recomienda el empleo de pinza paralela. Con una distancia al centro de gravedad de 60 mm y un peso de los dedos de unos 150g y una excentricidad de la carga de unos 10mm. Para este tipo de operaciones se trata de emplear un robot de cadena cerrada de alta aceleración 10g. Fijación por contacto adaptado. Coeficiente de rozamiento 0,5. Factor de seguridad de 2,5.

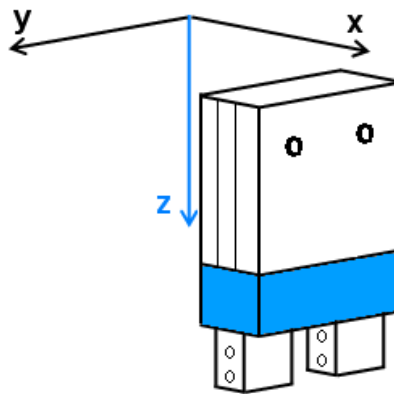


Figura 4.3 Modelo de garra o pinza paralela

La pinza recomendada es una HGPL-14-80-A. El peso de la pinza es de 720 gramos a lo que se suman los dedos más la brida de acople más es producto, total aproximadamente 1,6 Kg. La carga del robot es de 1Kg para lograr máximas aceleraciones.

Dada la operativa de movimientos a realizar y el tipo de garra recomendada el siguiente boceto muestra la posible operativa para el caso más desfavorable de manipulación corresponde al siguiente esquema:

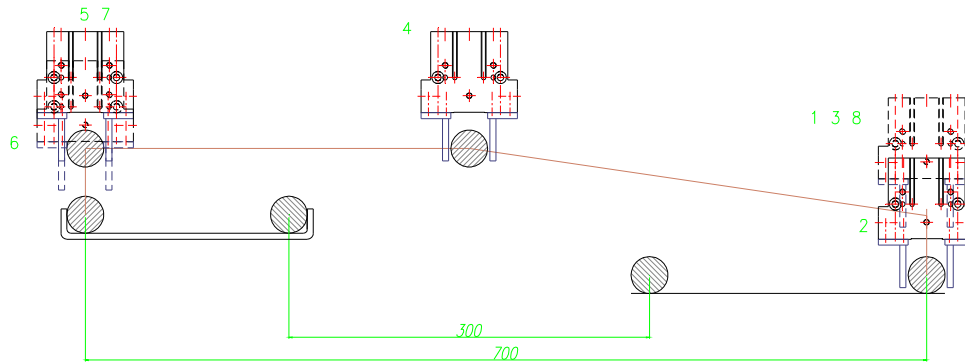


Figura 4.4 Operativa más desfavorable a realizar en la operación Pick & Place

La aplicación define una fuerza estática de sujeción de 43 N. La capacidad máxima de la garra es de 500 N muy por encima del requisito.

Considerando un tiempo de cierre y/o apertura de 0,29 segundos y que la aceleración media es de 10 m/s^2 en fases del proceso de manipulación más desfavorable es:

Paso	Descripción	Aceleración (m/s ²)	Movimiento (mm)	Tiempo estimado (s)	Subtotal (s)
1-2	Aproximación al objeto	10	50	0,14	0,14
	Cierre garras			0,29	0,43
2-3	Elevar garra	100	50	0,04	0,48
3-4	Desplazamiento hasta cerca de 4			0,00	0,48
4-5	Paso por 5	100	700	0,17	0,64
5-6	Acercar a final objeto	10	50	0,14	0,78
	Abrir garras			0,29	1,07
6-7	Retirar vertical cerca de 7	100	50	0,06	1,13
7-8	Retorno a posición inicial	10	700	0,53	1,66

Figura 4.5 Diagrama de flujo de la operativa más desfavorable

Total son 1,66 segundos en el caso más desfavorable, el ciclo completo buscado es por debajo de 1 segundo. Para la situación más favorable:

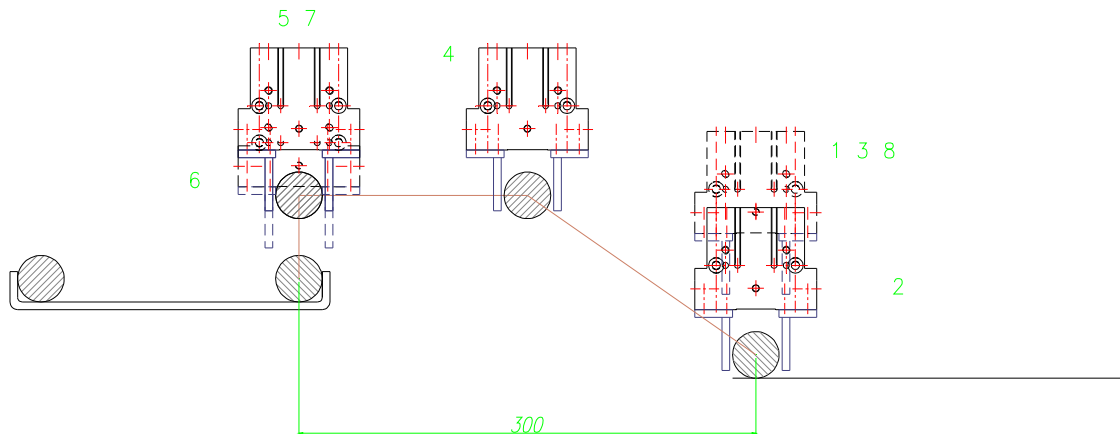


Figura 4.6 Operativa más favorable a realizar en la operación Pick & Place

Paso	Descripción	Aceleración (m/s ²)	Movimiento (mm)	Tiempo estimado (s)	Subtotal (s)
1-2	Aproximación al objeto	10	50	0,14	0,14
	Cierre garras			0,29	0,43
2-3	Elevar garra	100	50	0,00	0,43
3-4	Desplazamiento hasta cerca de 4			0,00	0,43
4-5	Paso por 5	100	700	0,00	0,43
5-6	Acercar a final objeto	10	50	0,14	0,57
	Abrir garras			0,29	0,86
6-7	Retirar vertical cerca de 7	100	50	0,06	0,92
7-8	Retorno a posición inicial	10	700	0,53	1,45

Figura 4.7 Diagrama de flujo de la operativa más favorable

Total son 1,45 segundos en el caso más favorable, esto implica un ciclo medio está en torno a 1,5 segundos con un peso total de pieza, garra y dedos de unos 1,52 Kg. Para conseguir una mejora, las posibles soluciones son:

- Reducir los tiempos de apertura y cierre.
- Garra con menor carrera que ejecute más rápido la operación, ello limita las futuras consideraciones en el diseño de los dedos y posibles variantes de tamaño.
- Cambio en el *layout* de distribución del material para mejorar recorridos.
- Estrategias nuevas en el orden de la manipulación de los objetos.

5) Entorno de trabajo

Es necesario reflejar todo lo relativo al entorno de la manipulación como; presión ambiental, disponibilidad de presión neumática, temperatura de uso, necesidades del objeto a manipular, tiempo ciclo, masa, fricción,...

Para la garra seleccionada la presión mínima (para lograr buenos tiempos de cierre y apertura) de alimentación neumática es de 1 bares lo cual se traduce en una presión de cierre en dedos de 44 N. La falta de aprovechamiento de la presión máxima de la garra es notable. El grado de madurez del producto influye notablemente en sus propiedades físicas al disminuir notablemente la dureza superficial según madura el fruto. Dada la finalidad de manipular pepinos con destino final al usuario, estos, no pueden estar excesivamente maduros por lo que el estudio descarta esta situación.

Kaoru Kohyama [61] analizo los esfuerzos que soporta una rodaja de pepino a distintas temperaturas 4 y 23 °C anotando las diferencias y la notable dispersión de resultados. Los valores de presión de rotura oscilan entre 481 y 582 kPa. Por otro lado estos datos son de rotura y son orientativos por la variabilidad y dispersión.

La carga debe estar centrada respecto a la garra para evitar sobreesfuerzos dinámicos, para ello el centro de gravedad debe caer alineado con el eje central de la garra. La pieza presenta una notable variabilidad geométrica por lo que no se puede asegurar siempre un correcto alineamiento de la pieza respecto a la pinza. Para evitar sobreesfuerzos debidos al desplazamiento de la carga se debe considerar:

- El diseño de los dedos debe adecuarse lo mejor posible a la forma del objeto para conseguir reducir los valores de presión y que los esfuerzos no superen a los de magulladura, valores desconocidos pero inferiores a los dados por Kaoru.
- El empleo de absorbentes de tolerancias que amortigüen los sobreesfuerzos dinámicos generados durante el agarre. Otra solución es dotar de grados de libertad al área de contacto para conseguir una mayor adaptación a la forma del objeto.
- Posibilidad de empleo de garras de accionamiento eléctrico que consigue menores picos de esfuerzos durante su funcionamiento. Esto afecta a la simplicidad y economía buscada.

- Analizar las condiciones ideales de temperatura y humedad en las que el producto admite mayores tensiones superficiales.

6) Manipulación por fuerzas de contacto normales o adaptación a la forma del objeto

Es importante considerar las distintas posibilidades que ofrece la pieza para saber si el objeto se puede asir por el simple rozamiento de una cara plana contra el objeto o si es necesario buscar una adaptación a la forma geométrica de la pieza. La siguiente figura muestra como un simple apoyo en cuña de 15° incrementa la carrera en algo más de 3 mm (se parte de un huelgo de 4 mm entre pieza y dedo).

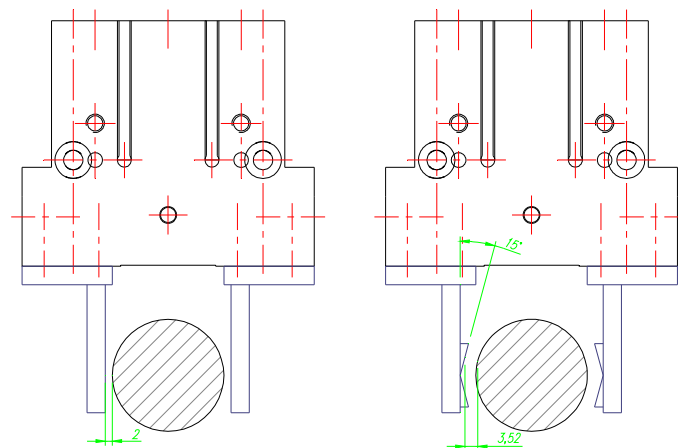


Figura 4.8 Análisis de la influencia de adaptación en forma con garras paralelas

Existen sistemas mucho más complejos que el representado que consiguen adaptarse a diversos tipos de forma. La solución propuesta se engloba dentro de las soluciones estándar con sus ventajas respecto a adaptaciones a medida. Por el contrario, la elección de uno u otro tipo de agarre presenta los siguientes aspectos:

1) Agarre por rozamiento:

- Simplicidad.
- No precisa una carrera larga lo cual beneficia a conseguir un menor tiempo ciclo.

- Mayores presiones sobre la pieza y posibles daños.
- Mayor incertidumbre en la posición final de la pieza.
- Mayor riesgo de caída bajo la misma presión lo cual implica necesidad de incrementar los esfuerzos para lograr la misma confianza en el agarre.

2) Agarre por adaptación:

- Complejidad.
- Incremento de la carrera necesaria y por ello incremento del tiempo ciclo.
- Reparto más uniforme de presión y mejora de la calidad final de la pieza.
- Posibilidad de auto-centrar la pieza entre los dedos mejorando la precisión de posición.
- Se pueden reducir los esfuerzos entre los dedos y con ello buscar una pinza más liviana.

La manipulación de objetos irregulares y/o de formas impredecibles requiere del empleo de garras con dedos que se adapten a la forma final de la pieza. Normalmente, para conseguir esto, se emplean zonas múltiples de agarre o sistemas de intercambio de dedos de distintas formas. Fuera de las soluciones estándar de los fabricantes existen múltiples combinaciones entre las que podemos estudiar:

- a) Empleo de pines retráctiles es muy interesante desde el punto de vista técnico pero extrañamente usado en la práctica y de difícil implementación en el sector alimentario por dificultades en la limpieza del mecanismo.

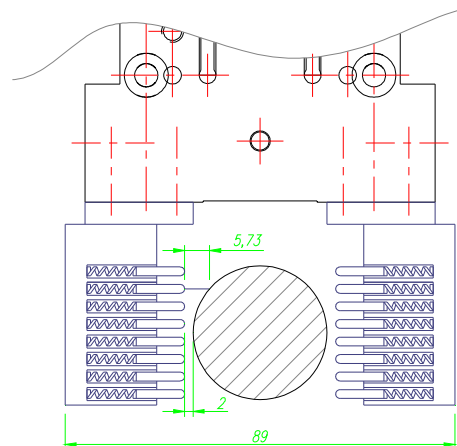


Figura 4.9 Modelo de adaptación en forma con agujas

Para el caso figurado en el dibujo es necesario tener una carrera de 12mm para que trabajen 5 pines por cada lado del objeto por lo que dada la variabilidad de pieza y tolerancia de uso, la carrera necesaria está entorno a 20mm. Estos dedos precisan de mayor espacio libre entre objetos, esto es un impedimento al dejar el producto sobre la bandeja. Debido a las condiciones de trabajo existe posibilidad de que los pines queden enganchados si entre ellos al quedarse incrustadas partículas. Se aumenta la complejidad del agarre, el mantenimiento necesario y el tiempo de ciclo. Precisa mayor distancia entre los objetos que se encuentren en la bandeja final.

b) Otra posibilidad puede ser:

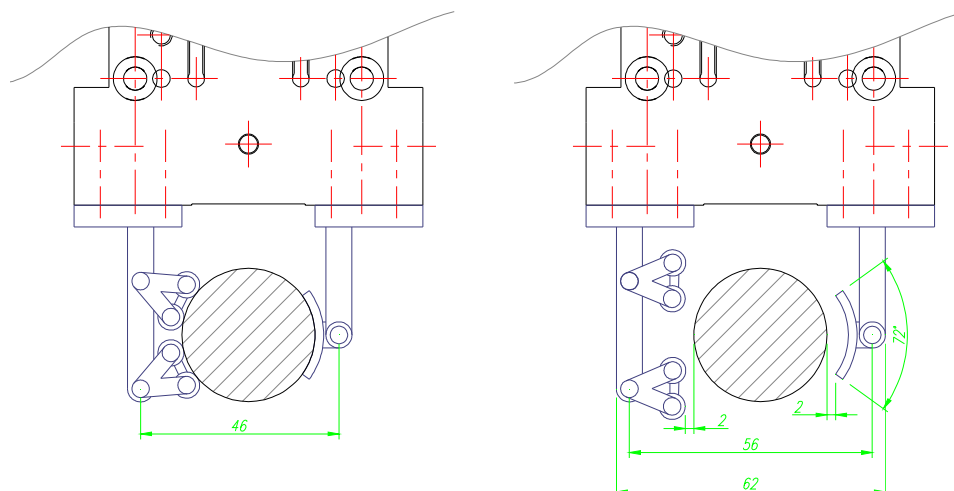


Figura 4.10 Modelo de adaptación en forma

Este método permite múltiples puntos de apoyo y una zona que puede adaptarse a la superficie y la distancia entre extremos de los dedos se reduce de 89 a 62 mm con la ventaja de dejar una zona libre en la parte inferior derecha del objeto lo cual puede aprovecharse para lograr la colocación de los objetos juntos en la bandeja. La carrera se consigue mantener por baja. La mayor desventaja de este método respecto al anterior es el mayor deslizamiento de componentes móviles sobre el objeto pudiendo estos dañar el objeto y una gran cantidad de puntos pivotantes. Una de las ventajas del dedo izquierdo es su capacidad para orientarse antes de encontrar el objeto.

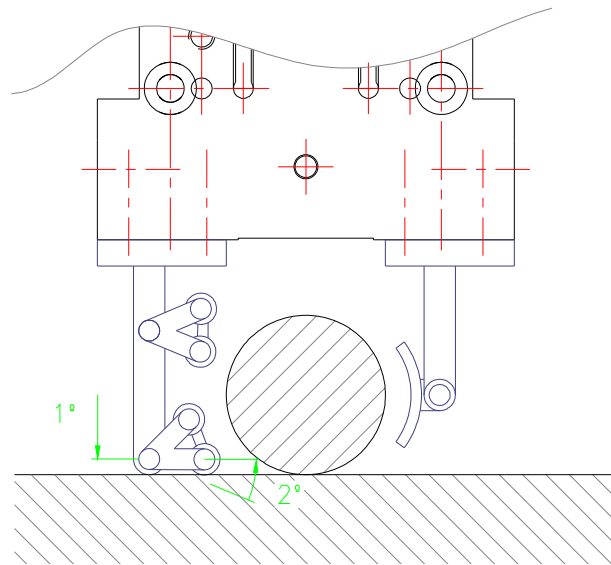


Figura 4.11 Esquema del enclavamiento del modelo

Al descender la garra los rodillos del extremo de la pinza pivotan al tocar el suelo de forma que consiguen la orientación final buscada para agarrar la pieza.

c) Otra posibilidad es buscar un fluido, o material elástico, que se adapte a la forma.

El sistema más sencillo para evitar la concentración de esfuerzos sobre un único punto es el empleo de dedos recubiertos de goma. Está aumenta el coeficiente de rozamiento entre ella necesitando con ello menor esfuerzo normal para conseguir sujetar la carga. La goma sufre mayor deterioro que el metal por lo que incrementa el mantenimiento necesario y reduce el número de ciclos posibles a realizar, además, se debe buscar un compuesto que no reaccione con los productos alimentarios.

Existe también posibilidad del empleo de dedos completamente hechos de goma que consiguen adaptarse a la forma del objeto al inflarse.

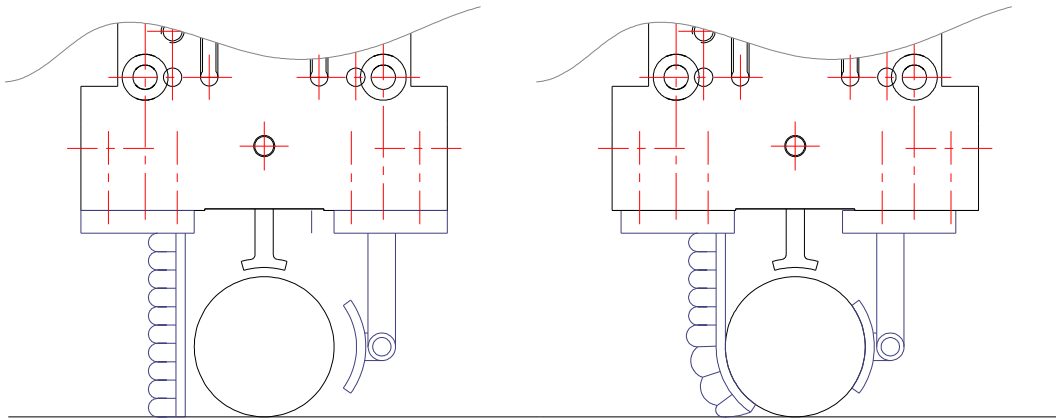


Figura 4.12 Modelo de adaptación en forma con dedo de goma

Para evitar el deslizamiento del objeto hacia la parte superior es necesario colocar un tope que evite ese movimiento. La principal ventaja de estos es su sencillez logrando evitar el uso de un sistema de apertura y cierre, esto es, con un simple inflado se logra agarrar el objeto por el contrario, la estandarización de estos es escasa, los esfuerzos que soportan son bajos, el tiempo ciclo puede verse incrementado y la longevidad es menor que empleando zonas de contacto metálicas. El fabricante Sommer tiene actualmente un diseño que utiliza estos dedos de goma, pero el tamaño es excesivamente grande para manipular el diámetro de un plátano (el diámetro a manipular está entre 40 y 164 mm) y los tiempos de ciclo apertura y/o cierre son de 0,6 segundos, muy elevados para las necesidades buscadas.

Existen propuestas de uso de espumas polímeros con efecto memoria de forma. Hay ejemplos de laboratorios que proponen su uso. Se basan en el amplio cambio que se produce en el módulo de elasticidad en función de la temperatura pasando de estado plástico a fluido. Las principales pegas para la aplicación en nuestro caso son:

- Aumento del tiempo ciclo por: necesidad de calentar y enfriar la espuma y aumento de la carrera.
- Procedimiento en fase de investigación.
- Dudosa longevidad.

Una de las tecnologías por desarrollar son los fluidos magnetoreológicos que se pueden rigidizar ante campos magnéticos que los atraviesen. La finalidad conseguida para adaptarse a la forma del objeto es la misma que las espumas con efecto

memoria descritas, la variación del módulo de elasticidad. En este caso el campo magnético consigue modificar la rigidez logrando. La principal ventaja de este método respecto al anterior es su respuesta inmediata, por el contrario, no es sencillo implementar y controlar el campo magnético en los dedos de una garra. Para nuestro caso las limitaciones de volumen de los dedos directamente limitarían su empleo.

La delicadeza de la pieza hace necesario el encontrar un reparto en los esfuerzos a aplicar por lo que es imprescindible encontrar dedos que se adapten, al menos parcialmente, a la forma del objeto. La variabilidad del objeto demanda una mayor flexibilidad del sistema de adaptación de la garra. Dado el ajustado tiempo ciclo el sistema adaptativo de forma no debería incrementar notablemente la carrera.

7) Empleo de fuerzas de contacto o succión desde la parte superior

Este punto considera los dos sistemas más importantes en el diseño de garras: pinzas o ventosas.

Para proceder a la selección de la o las ventosas más adecuadas es necesario conocer el objeto a manipular y sus características de entre las cuales podemos destacar las ya mencionadas:

- Peso medio entorno a los 500gr por unidad.
- Manipulación posible en cámara frigorífica.
- El fruto se presenta antes de la manipulación limpio y sin restos.
- El rango fluctúa entre 20 y 30 cm de largo y 3 a 6 cm de diámetro.
- La curvatura fluctúa entre altura máxima de arco 10 mm por cada 10 cm de longitud en Clase I aunque la reciente normativa europea [52], de 30 de Junio 2009, afirma que es factible la venta de pepinos curvos a partir del 1 de julio de 2009.
- La superficie presenta formas cilíndricas semi-curvas, suaves, no porosa.
- Al aumentar la madurez la dureza superficial del producto disminuye.

Con estas propiedades podemos comenzar a realizar un boceto de cuál es el tipo de ventosas que más se adapta a las necesidades. Las ventosas de una o más ondulaciones permiten trabajar con piezas irregulares, suaves o contornos superficiales, por otro lado, trabajan bien con superficies flexibles. Al aumentar el número de ondulaciones se incrementa la flexibilidad de la pieza y constituye un amortiguamiento a la manipulación de la pieza. Para este caso se decide manipulación vertical de la pieza. Al manipular productos alimentarios se debe seleccionar silicona como material de las ventosas.

Considerando un peso de 0,5 Kg con un factor de seguridad de 2, la carga estática a levantar es de:

$$F_{\text{est}} = 0.5 * 9.8 * 2 = 9.8 \text{ N}$$

La aceleración buscada es de 10g por lo que la carga dinámica es de:

$$F_{\text{din}} = 0.5 * 98 = 49 \text{ N}$$

La carga total es de 58.8 N. La presión de succión se estima a un valor de -0.5 bar por lo que la superficie de absorción necesaria son 118 mm², esto es, 1 ventosa de 6.12 mm de radio o 2 de 4.33mm. Por estandarización la cota de 10 mm de diámetro es más sencilla de conseguir. Dos ventosas de 10mm trabajando conjuntamente pueden conseguir manipular la carga. Por seguridad se pueden emplear 3 ventosas.

Las ventosas necesarias han de permitir adaptarse a formas distintas por lo que es necesario que tengan varios labios. Realizando un boceto sobre tres modelos distintos se aprecia la dificultad de colocación de las ventosas que deberían de estar en la línea central la cual variará para cada tipo de pepino.

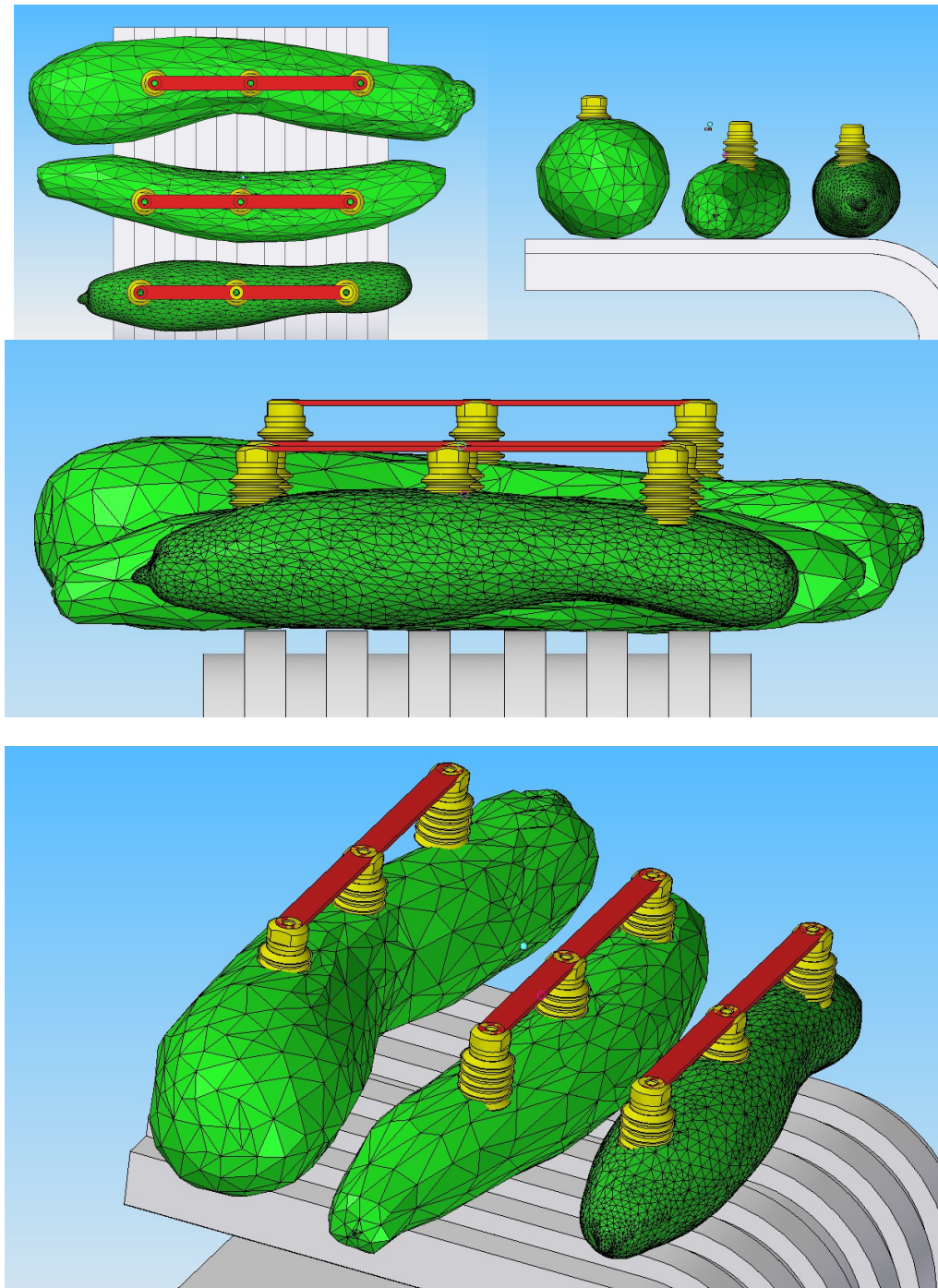


Figura 4.13 Esquema de agarre con ventosas en distintos modelos

Las figuras muestran la dificultad de encontrar la posición necesaria de las ventosas para que las tres trabajen de forma adecuada debido a:

- Diferentes cotas de altura.
- Curvaturas variables en corte tanto transversal como longitudinal.
- Posibilidad de encontrar superficies donde la ventosa no pueda hacer el vacío debido a alguna irregularidad en el pepino.

8) Definir superficies de agarre por esfuerzos normales

Dada la sensibilidad del producto a sufrir daños visuales por presión sobre la piel y las necesidades de calidad del mercado que precisan de evitar daños superficiales, es necesario especificar las zonas de agarre y presiones máximas que cumplan estos requisitos.

Podemos clasificar dos áreas diferenciadas:

1. El extremo, zona inicial del fruto que se desecha antes del consumo con formas irregulares y superficies son alta rugosidad.
2. Resto del fruto de formas suaves y redondas con alta sensibilidad a daños superficiales que afectan a la calidad superficial del producto.

La superficie más interesante para lograr el agarre por esfuerzos normales se encuentra en el **entorno del centro de gravedad**, por el contrario, está es la zona superficial es sensible a magulladura, por ello se debe limitar al máximo la presión que se ejerza entorno a ella.

9) ¿Se puede lograr el agarre entorno al centro de gravedad?

La zona ideal para lograr el agarre esta siempre entorno a su centro de gravedad (CDG) con ella se reducen los esfuerzos necesarios tanto los que se han de aplicar como su reacción sobre el resto de conjunto de agarre. Para este caso la forma

alargada del objeto y la falta clara de la ubicación del CDG hacen necesario usar no solo el entorno de esta sino también partes laterales. Un buen método es el conseguir asir el objeto cerca de su CDG y en sus extremos, este sistema minimiza esfuerzos y puede evitar que el objeto pivote por un fallo en el cálculo de la posición de agarre cerca del CDG

No es factible lograr una alta confianza en el agarre por medio del uso exclusivo de la zona cerca del CDG, aunque esta si es muy recomendable siendo lo ideal combinarla con otra u otras zonas extremas.

10) ¿Es necesario un cambio de herramienta en función de la variante a manipular?

Analizando simplemente tres modelos se puede ver la disparidad de formas y peso. El sistema de agarre debe adecuarse a la diversidad de tamaños y formas aunque dentro de unos márgenes definidos. Unificando el tipo de calibre a manipular conseguimos simplificar el diseño. La capacidad de absorción de tolerancias dimensionales rehúnda en una mayor dificultad en el diseño y menor fiabilidad en el agarre. Caso de uso de distintas categorías se puede plantear un cambio rápido de herramienta como solución aunque difícilmente es justificable en términos económicos y de tiempo ciclo.

El diseño se basara en los modelos escaneados en 3D procurando una adaptación a ellos.

11) ¿Es necesario una zona con forma adaptada al objeto en dirección de la máxima aceleración?

Al emplear un sistema de pinzas es más fácil absorber los esfuerzos en movimientos horizontales, los de mayor aceleración. Esto precisa que la forma de los dedos se adapte al objeto de la manera más conveniente posible. El uso de una forma paralela, y adaptada, a la superficie de agarre permite distribuir, con una gran uniformidad, los esfuerzos sobre el producto. La disparidad de formas laterales de los pepinos invita a la búsqueda de un método que se acomode por si solo a la forma cada objeto. El empleo de estas superficies flexibles hace que se tenga que aumentar la carrera de la

pinza con el consecuente aumento de tiempo. Los elementos flexibles son susceptibles de sufrir un alto desgaste y deterioro por el uso con lo que el mantenimiento se incrementa y el ciclo de vida puede verse reducido.

Actualmente existe un gran desarrollo en el uso de geles de silicona empleados en el mercado como amortiguadores o absorbentes de impactos. Las espumas de poliuretano con efecto memoria o visco-elásticas permiten adaptarse al objeto homogeneizando la transmisión de esfuerzos. Existen experimentos en los cuales se combinan los polímeros con partículas férricas, por este método se logra crear una forma adaptada controlando los campos magnéticos aplicados. La ventaja de estos frente a los fluidos magneto-reológicos radica en la consistencia de la espuma por lo que la deformación por efectos gravitatorios es menor.

Un estudio realizado por Matsuno T. [62] muestra las características de distintos elementos empleados como materiales deformables en la manipulación robotizada concluyendo con las buenas propiedades del poliuretano tanto por su elevado coeficiente de fricción como por su capacidad para transmitir esfuerzos. El gráfico muestra el radio de contacto al presionar con una esfera de 15,3 mm sobre un plano.

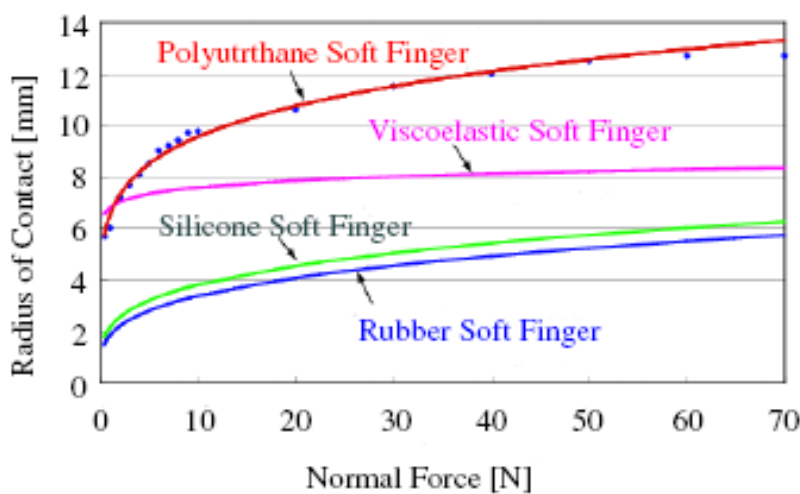


Figura 4.14 Análisis de la superficie de contacto según diversos materiales [62]

Uno de los métodos más sencillos para conseguir la adaptación a la forma del objeto es el empleo de globos. El aire empuja uniformemente la superficie interior en donde se encuentra encerrado, la goma puede entonces adaptarse a la forma externa del

objeto. Entre los sistemas existentes en el mercado hay sistemas estándar de fabricantes que usan dedos de goma inflables. Incluso este tipo de dedos se proponen en alguna patente [63] de manipuladores para la recolección de fruta.

Una posible solución es la combinación de ventosas con un **sistema flexible hinchable de goma con una cara de contacto recubierta de poliuretano** con ello se puede conseguir una alta adaptación a la forma final del objeto, aumento del rozamiento y la posibilidad de un mayor esfuerzo normal y de traslación del producto. La ubicación de estos dedos debe de estar entorno a la superficie reflejada en el siguiente esquema por ser esta la de menor variabilidad y mayor proximidad al centro de gravedad del objeto. Schmaltz, uno de los fabricantes de dedos de goma, está retirando del mercado la producción de estos sistemas. Esto invita a desarrollar otros sistemas que puedan adecuarse mejor a los requerimientos industriales de robustez y escaso mantenimiento.

12) Verificar la disposición de los productos y las posibles colisiones entre producto y garra.

Es imprescindible tener en cuenta como se suministra el producto. Se supone una distribución de los productos suficientemente separados unos de otros. La zona de abastecimiento es desde un plano en donde se distribuyen los productos de forma espaciada. La idoneidad de suministrar de forma tipo “*magazine*” (separados mínimamente y de forma paralela) es difícil de encontrar al no tener un claro paralelismo entre varias unidades.

Para lograr la alineación paralela lo más junta posible los productos se deben de acomodar entre ellos consiguiendo dos puntos de contacto. En este caso es muy difícil conseguir que los dedos de la garra se interpongan entre los dos pepinos. Se hace imprescindible usar un método como pueden ser las ventosas en donde el producto se logre manipular usando solo la parte superior. La variabilidad de forma y la desviación del centro de gravedad hacen desaconsejable el uso exclusivo de un sistema de ventosas. Los sistemas de visión artificial también necesitan de separación suficiente para reconocer correctamente los productos.

Al separar los productos, sus caras laterales se vuelven accesibles con lo que éstas se pueden emplear para lograr la manipulación final. La desventaja de pérdida de productos puede verse compensada incrementando la velocidad de la cinta

transportadora. Las cámaras de visión artificial consiguen más fácilmente reconocer el perfil de cada unidad suministrando la información de posición y orientación posteriormente al robot.

La idoneidad de suministro es que, sin sistemas tecnológicamente complicados, sepamos donde se encuentra el producto y que orientación tiene. El empleo de celdas unitarias para cada pepino puede representar una ventaja a la hora de localizar el producto, por otro lado la orientación de este puede llegar a conseguirse aprovechando alguna de las características físicas del objeto. Existen numerosos ejemplos en la industria que logran por métodos sencillos orientar y posicionar el producto.

13) ¿Es necesario aumentar el coeficiente de rozamiento en los dedos de la garra?

El aumento del coeficiente de fricción repercute en un menor esfuerzo sobre el producto. Dada la sensibilidad de los pepinos a sufrir marcas superficiales es imprescindible lograr la mayor fricción posible en los dedos de la garra consiguiendo reducir estos esfuerzos superficiales. Según puede verse en el apartado 11) las espumas de poliuretano son las más interesantes para aumentar el coeficiente de fricción. Por el contrario un excesivo coeficiente de rozamiento junto con una elevada rigidez de los dedos, deriva en mayores esfuerzos durante la fase de deslizamiento del producto hasta su agarre estático lo cual puede provocar desgarros.

14) El robot y sistema de agarre soportan los esfuerzos máximos posibles.

Los esfuerzos más notables a considerar son los momentos y los impactos que se puedan producir.

Según las hipótesis consideradas los esfuerzos máximos de aceleración que soportan los robots de cadena cerrada están en torno a 10g en movimiento oblicuo. El siguiente boceto muestra un posible recorrido de manipulación siendo este el más desfavorable para lograr altas sollicitaciones mecánicas. El punto 1 es el que tiene el vector aceleración mayor y por tanto es el más desfavorable del estudio.

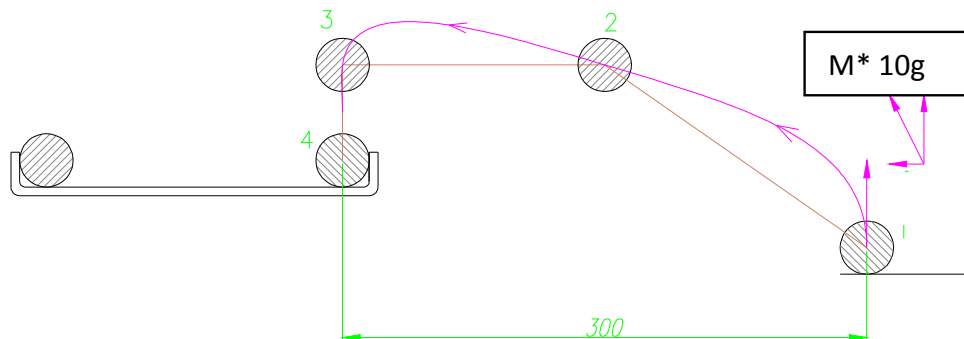


Figura 4.15 Esquema de la máxima aceleración a que se somete el objeto cuando se manipula con el robot

Considerando el máximo de aceleración y desde un punto de vista conservador la aceleración se puede lograr o en vertical o en horizontal. Además es necesario considerar una posible desviación de la carga que no pasará de unos 30mm. Por este motivo el soporte de anclaje de la garra al manipulador debe ser lo suficientemente robusta como para soportar tanto el esfuerzo normal como el par generado por la desviación de la carga.

Es muy importante considerar el análisis de vibraciones e impactos. Si la manipulación se realiza con dedos de goma o ventosas gran parte de estos esfuerzos dinámicos serán absorbidos por la garra evitando transferir el sobre esfuerzo al producto.

15) El objeto a manipular puede soportar los esfuerzos de las ventosas.

Este punto uno de los de mayor incertidumbre del análisis ya que el desconocimiento de las propiedades específicas del objeto relativas a presiones superficiales hace muy difícil dar una clara respuesta. El aumento de la presión superficial se traduce en un mayor riesgo de sufrir magulladuras que, empeorando el aspecto visual, pueden reducir su categoría.

Durante estas fases del diseño siempre se ha tenido presente el evitar al máximo, dentro de la medida posible, altas presiones superficiales. Este planteamiento ha

llevado a buscar una solución en sistemas basados en el uso del aire como fuente de energía y con superficies de contacto que se adapten al objeto.

Es importante tener en cuenta no solo los esfuerzos normales a la superficie, también los cortantes o deslizamientos respecto a ella pueden redundar en daños visuales de la superficie por desgarro. Para ello la adherencia alta y la flexibilidad de las ventosas ayudan a evitar este efecto.

Ante la falta de datos de caracterización mecánica de los pepinos y las dificultades de uso de parámetros físicos comúnmente usados en ingeniería mecánica los experimentos son la forma de verificar el daño producido por las ventosas.

16) Análisis de situaciones de emergencia

La baja dureza superficial, baja fragilidad y bajo coste del producto hace que no se considere especialmente relevante el caso de un fallo durante la manipulación.

En el caso más desfavorable la pérdida de aire se producirá a la mayor velocidad posible, la velocidad máxima se logrará a mitad del recorrido máximo. El desplazamiento mayor posible es menor de 350 mm (en realidad 700mm pero la mitad son de aceleración y la otra de deceleración) y la aceleración considerada es de 10g por lo que la velocidad máxima no será mayor de 15Km/h en el punto medio. Aunque el valor no es especialmente alto habrá que considerar el diseño del **entorno de la máquina para que caso de un fallo el producto no pueda dañar ninguno de sus mecanismos.**

17) Verificar el coeficiente de seguridad del agarre

La solución de uso de ventosas es una difícil solución si se pretende manipular objetos de gran variabilidad de formas.

La solución de diseño de garras es más factible, si bien, es necesario adaptar la garra a las necesidades dimensionales. Con el modelo de garra de Festo HGPL-14-80-A las prestaciones de presión exceden notablemente necesidades de fuerza normal de agarre. Sin embargo, el peso excede del ideal de 1 Kg con la pieza de unos 500g.

La solución de dedos de goma es descartable por falta de éxito comercial probablemente por su escasa durabilidad.

Las soluciones estándar no consiguen la finalidad buscada.

18) ¿Se puede reducir la presión sobre la pieza?

La idoneidad de reducir los esfuerzos normales hace que se puedan evitar manchas por daños en las caras superficiales laterales. Los esfuerzos laterales teóricamente son necesarios para aumentar la fiabilidad del agarre y lograr soportar las aceleraciones horizontales y verticales. La facilidad de control de estos hace que **se pueda regular el esfuerzo** de manera sencilla por medio de **un reductor de presión**. El límite mínimo de esfuerzo se puede determinar de forma experimental.

19) Considerar posibilidad de bloqueo mecánico

En circuitos neumáticos se puede conseguir el bloqueo mecánico por el cierre de electroválvulas que corten el suministro o aspiración/impulsión de aire. Otra posibilidad es incorporar otro mecanismo que bloquee el movimiento del principal. Estos mecanismos pueden robustecer el proceso evitando movimientos del producto durante el transporte.

No es improbable que el producto sufra movimientos durante el transporte, el bloqueo evitaría la apertura de los dedos de la garra pero a la vez puede incrementar la presión sobre el objeto. Un sistema flexible neumático puede actuar de amortiguador mejorando el comportamiento dinámico ante sobreesfuerzos. **No es recomendable** bloquear el flujo del aire.

20) Sistema anticollisiones y/o de sobrecargas

La capacidad de absorción de tolerancias del sistema de agarre con garra neumática permite que el mismo se proteja ante colisiones del objeto o sobrecargas,

permitiendo el movimiento relativo del objeto o la incapacidad para cargarlo. También facilita la absorción de tolerancias por fallos en la aproximación al objeto. El actuador neumático puede, por sí mismo, ser un sistema seguro ante sobrecargas y colisiones por lo que **no es preciso** emplear otro añadido.

21) Sistema anticollisiones y/o de sobrecargas

La capacidad de absorción de tolerancias que se debe diseñar junto con el sistema de agarre neumático permite que el mismo se proteja ante colisiones del objeto o sobrecargas, permitiendo el movimiento relativo del objeto o la incapacidad para cargarlo. También facilita la absorción de tolerancias por fallos en la aproximación al objeto. El diseño propuesto por sí mismo constituye un sistema seguro ante sobrecargas y colisiones por lo que **no es preciso** emplear otro añadido.

22) Analizar precisión del agarre

La **precisión pretendida** en la posición final del objeto **no es alta** por la propia definición de la variabilidad dimensional del objeto. Esta hace que no sea posible, y a la vez innecesaria, una alta precisión final del objeto, por tanto tampoco del sistema de agarre.

La mayor dificultad es el empleo de caras no paralelas entre la superficie del objeto y la de los dedos de una garra paralela, esto provoca un giro de la pieza o crea un par en ella en busca del mejor acomodamiento posible. Por otro lado, dada la irregularidad de la pieza, si esta consigue girar por el par creado al cerrar una **garra paralela**, no se sabe cuánto está **girado el objeto** respecto a la garra por lo que la posición final no está bien definida.

23) Interferencias con la apertura de la garra

El mayor riesgo aparente de interferencias se puede dar entre los productos cuando la garra está en apertura total y los dedos golpeen algún objeto al bajar en la fase de

aproximación. El tamaño y posición de los dedos en apertura debe ser considerado para que el sistema sepa si existe o no suficiente espacio. Prescindiendo de este sistema, la separación de objetos en la **zona de carga y descarga debe diseñarse para lograr un espacio suficiente entre objetos que evite las colisiones**, con los dedos en posición abierta, con productos que no se desean manipular.

Al dejar el producto la operativa normal tiene un proceso de aproximación y apertura con lo que es posible la colisión con otros productos anteriormente depositados una solución es dejar caer el producto para evitar cualquier colisión al abrir la garra.

24) Centrado del objeto respecto a la garra

La probabilidad de que el objeto sufra movimientos durante las fases de agarre es muy elevada pues la variabilidad de formas así lo indica. El **diseño de la garra** debe ser lo suficientemente **flexible** como para permitir ciertos **movimientos angulares y verticales del objeto**.

Las necesidades de centrado de pieza no pueden ser elevadas al pretender manipular objetos de diversos tamaños por ello la garra y el manipulador han de ser capaces contrarrestar la variabilidad de centrado de la pieza.

Uno de los efectos negativos en esta manipulación es que el objeto gire notablemente sobre si mismo entorno a su eje longitudinal, este efecto puede repercutir en un exceso de desvío del CDG con un notable incremento de los momentos y una variación notable en la posición final de la pieza. Por este motivo es recomendable que el objeto puede agarrarse de la forma más paralela posible a los dedos de la garra evitando el giro y desplazamiento del objeto.

25) Tipo de actuador del sistema de agarre

La energía neumática es la más interesante para lograr la manipulación buscada. El sistema neumático presenta la ventaja de ser más sencillo y robusto que uno eléctrico, también, evita complicadas instalaciones para lograr una homologación fácil limpieza con un Índice de Protección (IP) 65 o mayor.

26) Empleo de sensor de presencia

Este sistema puede robustecer la fiabilidad del agarre. La variabilidad de formas reduce la fiabilidad de la manipulación sobre todo con formas muy distintas de las consideradas en el diseño. Por otro lado el riesgo de giro del producto respecto a su eje longitudinal puede derivar en un fallo de centrado del producto. Un sensor de presencia, puede ayudar a:

1. Asegurar presencia de pieza en el agarre.
2. Verificar posición correcta de la pieza.

El mayor inconveniente es el aumento de complejidad y peso de la garra.

27) Acortar los dedos lo máximo posible

El aumento de longitud de los dedos de agarre aumentara las solicitaciones mecánicas que se realizarán sobre la garra. El incremento de esfuerzo se traduce en la necesidad de reforzar los dedos en su base y el mecanismo de actuación. Esto se traduce en un mayor peso y un empeoramiento de la dinámica de la garra.

Uno de los efectos importantes a la hora de manipular productos hortofrutícolas es la sensibilidad a la magulladura. El golpe creado por los dedos de la garra sobre el objeto será mayor cuanto más masa tenga el dedo. La cantidad de energía absorbida por el objeto o el dedo dependerá de la masa de estos y la dureza relativa entre ambos objetos. Estos aspectos ya se consideraron en el punto 1)

28) Monitorizar posición dedos

El empleo de sensores en garras tipo pinza, en donde un desplazamiento de un pistón o corredera produce el movimiento final de los dedos, es relativamente fácil de incorporar. Se puede monitorizar la posición en cada uno de los puntos si se incorpora un encoder que siga la trayectoria o simplemente colocar sensores de presencia que

permiten definir el si la posición de los dedos esta o no en ese punto. Todos estos sensores aumentan la complejidad final y coste de la garra.

Uno de los mayores valores añadidos al control de la posición de los dedos es el poder garantizar el agarre. También esto se puede controlar a través de sensores de presencia.

Bajo la idea de sencillez, máxima robustez y mínimo peso no es interesante monitorizar la posición de los dedos.

29) Sensores de esfuerzo en el agarre

Existen sensores de fuerza e incluso de presión que pueden lograr simular la precisión y el tacto de una mano. También se pueden emplear sensores en la base de la garra que permiten conocer esfuerzos lineales, pares de los tres ejes y las aceleraciones. Con la misma premisa que en el punto anterior, en manipulación *Pick & Place* de productos hortofrutícolas, el aumento en la complejidad y peso hacen no conveniente incorporar este tipo de sensores.

Empleando un regulador de presión a la entrada del actuador neumático se puede conseguir emular el efecto de un sensor de fuerza. Los nuevos sistemas de electroválvulas neumáticas, convenientemente instalados, pueden lograr un control significativo del esfuerzo neumático realizado.

30) Varios tipos de dedos con cambio rápido

Con las mismas consideraciones que en el punto 10). Los dedos de la garra deben adaptarse a diversidad de formas dentro de unos márgenes. Además el cambio rápido de los dedos de la garra debe ser analizado para ver su posible influencia sobre, el aumento del peso total de la garra, la influencia sobre el cambio en el comportamiento cinemático y dinámico. No es aconsejable plantear un cambio rápido dedos.

31) Adaptadores de tolerancia y juntas de fluidos y/o electricidad

Los sistemas de adaptación de tolerancia son muy convenientes en la manipulación de cargas muy pesadas. El peso reducido de un pepino y la incertidumbre del punto de agarre no hace vital considerar un sistema de adaptación de tolerancia. El diseño de la garra debe proveer la capacidad de agarrar el producto con una ligera desviación respecto a su centro de gravedad y con ello un aumento en las sollicitaciones mecánicas.

Con la idea de máxima sencillez el sistema no debe incluir elementos adicionales que impliquen aumento en peso y complejidad, evitando el uso de juntas rotativas neumáticas o tomas rápidas eléctricas de sensores. La viabilidad de llevar la energía neumática hasta la garra no representa dificultad alguna al usar tubos neumáticos flexibles capaces de absorber estos movimientos.

32) El diseño de la garra tolera superficies no paralelas de pieza

El uso de un sistema rígido de movimientos paralelos sobre una forma prismática de caras no paralelas obliga a aplicar una concentración de esfuerzos al agarrar el producto. Cuando se coloca uno de los dedos pivotante respecto a su eje vertical se mejora la capacidad de adaptación aumentando el área de contacto y con ello disminuye la presión ejercida.

Es muy conveniente conseguir una garra con elevado número de GDL lo cual beneficiara a la adaptación a diversidad de formas evitando la necesidad de colocar adaptadores de tolerancia.

La forma alargada de los pepinos implica unos esfuerzos angulares notables al agarrar el producto debido al giro de este por lo que es necesario que los dedos se adapten lo mejor posible a su forma evitando, en la medida de lo posible los giros del producto entorno a la garra.

33) Verificar tiempo ciclo

El incremento de elementos adicionales al concepto inicial de diseño de una garra simple de accionamiento paralelo de dedos hace necesario volver a estudiar el tiempo

ciclo total del proceso. Por otro lado, para lograr una mayor fiabilidad del agarre se ha definido un proceso que puede afectar al tiempo ciclo. El proceso analizado en el punto 4 fluctúa según la distancia a recorrer.

Para reducir el tiempo ciclo se pueden mejorar los tiempos de cierre de los dedos por medio de un mecanismo de carrera reducida al mínimo valor necesario, aumentar la presión de alimentación neumática y reducir la masa de los dedos. Estos parámetros también son válidos para mejorar el tiempo de apertura y liberación del objeto. Añadir expulsores beneficia, sobre todo a la manipulación de objetos ligeros y con tendencia a adherirse, tiempos de suelta rápidos. Para lograr llegar a tiempos ciclo por debajo de 1 segundo estos tiempos deben estar por debajo de 0,1 segundos.

La optimización del lay-out beneficia la reducción de desplazamientos mejorando los tiempos de desplazamiento.

Si con estas mejoras no se puede lograr el tiempo ciclo buscado existe la posibilidad de analizar una garra para manipular varios objetos (garra multi pick) a la vez reduciendo así de forma notable el efecto de los desplazamientos. Las garras multi pick son de compleja operativa y mayor peso su empleo está en parte condicionado por la disposición de los objetos antes del agarre.

- Beneficia que la distribución de los objetos sea adecuada para la simplificación de la operativa de la garra.
- La orientación de inicio y llegada o es la misma o todos ellos se giran durante el desplazamiento al destino.
- Aumento de la complejidad de la garra. El peso y número de componentes se ve incrementado, esto repercute en el manipulador necesario, la distribución de todos los periféricos, mayor dimensionado y necesidades de aire, incremento de la necesidad de mantenimiento.

34) Tiempos de reparación

La necesidad de conseguir un tiempo efectivo de trabajo lo más alto posible va en consonancia con un diseño robusto, de fácil y rápida reparación. La idea de un sistema sencillo va en consonancia con el menor riesgo de que alguno de sus

componentes falle. Por otro lado es necesario diseñar un sistema de acople al manipulador que permita unos tiempos de cambio rápido de herramienta ya que la carencia de sustitución por necesidades de limpieza es muy elevada. Es imprescindible el uso de sistemas **neumáticos de conexiones rápidas**. Los acoples normalmente usados de tornillos pueden sustituirse por sistemas de bridas de acople rápido que permitirán una mayor facilidad de cambio de herramienta. Existen útiles en el mercado para facilitar un cambio rápido. La integración de estos equipos, en general, lleva asociado un aumento en peso y complejidad.

En las especificaciones de diseño del equipo es imprescindible definir las tareas de mantenimiento necesarias a realizar y la periodicidad. Es importante que el fabricante proporcione tiempos de sustitución o reparación. Una herramienta potente para evaluar estos datos es el empleo de un ANFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos) de diseño y proceso.

35) La carga supera algún límite superior

Es imprescindible especificar en el diseño la carga máxima a manipular con un coeficiente de seguridad suficiente. Los tres modelos analizados varían entre 309 y 765 gramos. Ambos son casos extremos a manipular. El diseño por tanto debe centrarse en la manipulación estándar de 500 gramos y analizar el peso máximo admisible a una aceleración dada. Considerar un peso por encima del normal implica un diseño no optimizado para la mayoría de la población.

36) Usar una garra estándar o una solución especial

Según lo analizado se descarta la posibilidad de uso de ventosas. La siguiente solución más sencilla y difundida en el mercado son las pinzas neumáticas. La carrera buscada está entre 20 y 90 mm con una presión entre objeto y dedo estimada en unos 50 Newton, carga de 500 gramos y velocidades de cierre-apertura menor de 0,1 segundos. La mayoría de fabricantes para estas necesidades ofertan pinzas de elevado peso, altos tiempos de cierre-apertura con capacidades de carga muy por encima de los 50 Newton. Muy pocos productos estándar están homologados para uso en alimentación. Estas reflexiones invitan a realizar una solución especial, un

mecanismo que logre adaptarse a los modelos escaneados y sea capaz de lograr los requisitos buscados.

37) Tiempos de entrega

En este caso no es un factor de vital importancia pues el ejercicio trata de buscar solución a una manipulación inexistente en el mercado. Por otro lado, el uso de un sistema detallado de diseño mejora los tiempos de implementación de la solución definitiva reduciendo los ajustes en los prototipos a realizar y modificaciones del diseño antes del producto final. El uso en soluciones a medida con **componentes estándar** reduce los tiempos de entrega y asegura un suministro fácil de repuestos.

38) Condiciones de garantía a la entrega del equipo

La **legislación** obliga a dar garantía de servicio de toda maquinaria suministrada, a su vez existen otros requisitos legales que la máquina a de cumplir como puede ser la seguridad o el **mercado CE**. Relativo a la garantía lo interesante es especificar en la documentación hasta donde esta cubre los diversos elementos. Cuanto más clara y específica sea la documentación, menores serán los problemas relativos a discrepancias entre cliente y proveedor. Los plazos y condiciones de garantía deben, al menos, cumplir la legislación vigente del país de destino de la máquina. Por otro lado es importante conseguir las especificaciones de garantía de los equipos adquiridos.

39) Material auxiliar necesario

Una buena programación de diseño de una instalación está debe proveer de los equipos suplementarios necesarios para un desarrollo adecuado y dentro de los plazos establecidos.

La idea de este desarrollo es lograr prototipos, estos se probarán en las instalaciones disponibles del Instituto Ai2 o de Ulma packaging para en fases posteriores sacar el

producto a fabricación. Las instalaciones de ambos centros son suficientes para conseguir realizar las pruebas pertinentes. En Ai2 hay disponibilidad de robots, sensores piezoeléctricos de fuerza, par y aceleración, acometidas de aire y herramientas auxiliares. Para conseguir adquirir, adecuadamente, las propiedades de los productos es necesario realizar experimentos concretos y por ello puede ser necesario adquirir durómetros o penetrómetros de fruta o balanzas de muelle que trabajen a presión que pueden ayudar a definir la máxima presión superficial.

40) Usar solo el equipo de diseño interno o buscar expertos externos

El proyecto busca encontrar la manipulación de productos que actualmente no se realiza en el mercado. Constituye un trabajo de investigación que pretende encontrar nuevas soluciones a la manipulación de productos hortofrutícolas. Los expertos en diseño de garras tienen la experiencia de los productos que actualmente existen en el mercado, esto supone ventajas claras a la hora de plantear una solución comercialmente existente pero limitaciones en la búsqueda de soluciones distintas a las usadas comúnmente. Para conseguir recoger la **experiencia del mercado** se cuenta con la colaboración de expertos en la materia por parte de **Ulma**, en la búsqueda de **nuevas soluciones** alternativas se cuenta con documentación de trabajos de investigación de diversas universidades y **centros de investigación**.

4.3. Diseño garra *Pick & Place* para pepino holandés

Todos los anteriores puntos reflejan las distintas áreas de influencia en el diseño de garras y el intento de implementación de soluciones estándar del mercado. Para el caso de manipulación el pepino holandés en operación *Pick & Place* las principales consideraciones son:

- Bajo peso de la garra. Uso de nuevos materiales plásticos que permiten aumentar el área de contacto, reducir el peso y reducir los efectos inerciales aumentando los momentos de inercia para reducir los efectos de las tensiones producidas por flexores y torsores. Los plásticos de altas propiedades mecánicas específicas son los que más se adaptan a estas necesidades. Plásticos tipo PEEK, POM, UHMW-PE y PA 66 pueden cumplir con la necesidad de altas prestaciones mecánicas, bajo peso específico y homologación para contacto alimentario.
- Alta carencia para lograr un reducido tiempo ciclo por debajo de 1 segundo. Los robots paralelos de cadena cerrada son los que mejor se adaptan a estas necesidades. La garra está pensada para ser utilizada en el modelo Flexpicker de ABB IRB 340. Las principales limitaciones son 1 Kg de capacidad y 10g de aceleración máxima.
- Manipulación de un objeto muy delicado. Todo el análisis busca que el área de contacto entre dedos y producto sea máxima y la presión ejercida mínima para lograr las aceleraciones de 10g.
- Objeto irregular. Diámetros variables con superficies no paralelas y curvatura del cuerpo. El mecanismo de la garra se debe adaptar a la variabilidad de formas. Debe tener varios GDL para adaptarse al objeto y un actuador sencillo de 1 GDL.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se decide buscar mecanismos especiales que logren adaptarse a estos requisitos. El mecanismo debe tener la menor cantidad de pares de revolución y prismáticos, evitando en la medida de lo posible estos últimos. El actuador mecánico seleccionado es un pistón neumático. El mecanismo debe lograr el movimiento de las palas o dedos de la garra con una carrera entre 20 y 90 mm aproximadamente. Las palas se mecanizarán en plásticos resistentes. Los elementos del mecanismo deberán ser, en la medida de lo posible, artículos comerciales.

Lo primero es crear modelos en tres dimensiones mediante un escáner 3D de no contacto *Konica Minolta Vi 9i*. Con este sistema se pueden obtener modelos de tridimensionales y geometría, textura y color reales. Previamente es necesario un acondicionamiento del modelo por medio del software *Rapidform*. Los modelos son exportados a formatos estándar para poder ser importados en el programa de CAD *SolidEdge V18*. El disponer de modelos reales facilita notablemente la optimización de las distintas piezas buscando formas suaves que se adapten al objeto. Mediante el *SolidEdge V18* podemos diseñar las piezas, crear el conjunto (la garra), establecer el movimiento básico del mecanismo utilizado, definir características de cinemáticas de la garra como apertura, cierre y dimensiones. El conjunto está diseñado en base a las necesidades de carrera y adaptación a la forma de los diversos modelos que se disponen. El uso de modelos virtuales 3D permite de manera rápida verificar el funcionamiento básico, la adaptación al objeto, las interferencias entre piezas, peso y tamaño de piezas, volumen de la garra así como modificar crear restricciones entre piezas. Así se consigue agilizar el proceso de diseño de la garra. La conclusión final es la evolución de diversos modelos que, a modo de prototipo virtual, van evolucionando hasta encontrar la solución de compromiso.

La garra constituye un mecanismo y como tal es necesario analizar las sollicitaciones mecánicas a que está sometido para verificar el correcto funcionamiento de cada componente. El análisis estructural se verifica con el programa de elementos finitos *Ansys Workbench*. Este se encuentra integrado dentro de la aplicación de CAD facilitando con ello la integración de cualquier tipo de cambio. La optimización se basa en el análisis de cada componente para no sobrepasar los esfuerzos máximos, buscando una distribución uniforme de tensiones. Este método ha permitido optimizar el peso eliminando el material sometido a baja carga y comprobar la validez de distintos materiales. Los análisis se basan en hipótesis de máxima sollicitación que se puede encontrar durante las fases de mayor aceleración del robot.

El comportamiento cinemático de mecanismos sencillos puede analizarse empleando también *SolidEdge v18*, sin embargo, para lograr una correcta simulación cinemática y dinámica se ha empleado el programa *Visual Nastran 4D*. Este programa permite la simulación de mecanismos formados de componentes sólidos rígidos. La información lograda permite optimizar el mecanismo y caracterizar la garra. Los principales parámetros susceptibles de ser caracterizados son:

- Tiempos de agarre, de suelta, de estabilización de producto.
- Presiones mínimas para lograr el agarre.

- Máximas aceleraciones lineales y rotacionales del robot para evitar que el objeto salga despedido.
- Punto óptimo de agarre.
- Variabilidad posicional durante el agarre,...

4.3.1. Análisis cinemático y dinámico

El siguiente modelo, Proto_11_pep_v2, es la evolución de múltiples mecanismos desarrollados en búsqueda de cumplir los requisitos y necesidades anteriormente contempladas. El esquema cinemático del modelo está constituido por un cilindro o guía lineal, dos articulaciones esféricas o rotulas y 3 ejes.

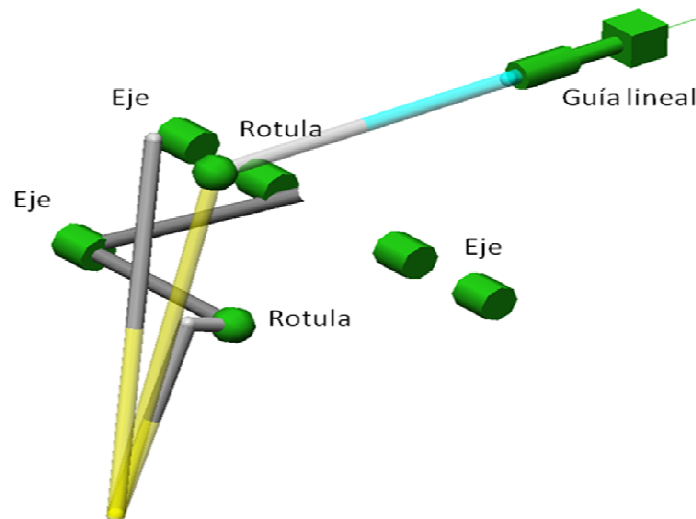


Figura 4.16 Esquema del modelo cinemático

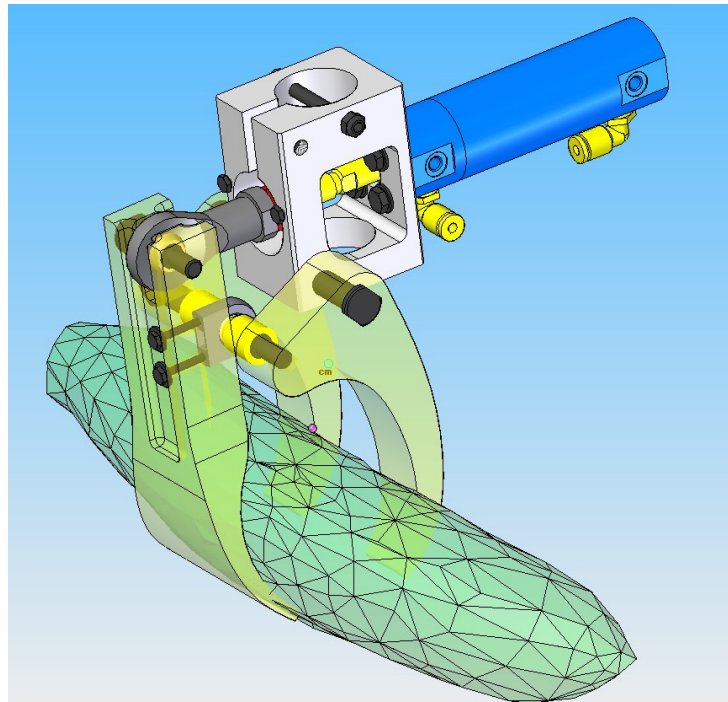


Figura 4.17 Modelo virtual 3D de la garra diseñada

Igus es el proveedor de rotulas de plástico y ejes de acero inoxidable, SMC el cilindro de aluminio y racores angulares de toma de aire, resto de componentes precisan de mecanizado. La tornillería empleada es la normalizada según DIN.

Nombre de archivo	Cant	Material	Masa (Kg)	Densidad g/cm ³
Biela lateral v18	1	UHMW-PE	0,05	0,913
Biela lateral v23	1	UHMW-PE	0,03	0,913
Biela lateral v24	1	UHMW-PE	0,03	0,913
Brida acople proto 11 pep.	1	SIMAGAL 63-T5	0,11	2,7
casquillo separador	2	UHMW-PE		0,913
DIN 912 M4x40	1	Acero inoxidable	0,00	7,750
DIN 912 M5x25.	1	Acero inoxidable	0,01	7,750
DIN 985 M4	1	Acero inoxidable	0,00	0,000
DIN_125_A4_3	5	Acero inoxidable	0,00	8,027
DIN_125_A5_3	1	Acero inoxidable	0,00	8,027
DIN_9021_A2_7	2	Acero inoxidable	0,00	8,027
DIN_933_M2_5x20	2	Acero inoxidable	0,00	8,027
DIN_933_M2_5x6	2	Acero inoxidable	0,00	8,027
DIN_933_M4x10	4	Acero inoxidable	0,00	8,027
DIN_934_M8	1	ABS, alto impacto	0,00	8,027
Igus cojinete pedestal ESTM-08_SL_2	1	ABS, alto impacto	0,00	1,024
Misumi eje SCLBGHNU8-20-FC12-TC2_1	3	Acero inoxidable, 304	0,01	8,027
Misumi eje SCLBGHNU8-55-FC13-TC2_0	1	Acero inoxidable, 304	0,03	8,027
PepHol 4_448	1		0,45	1,013
Rotula hembra Igus EBRM-08_3	1	Polipropileno, alto impacto	0,00	0,913
SMC cilindro Aluminio CG1AN20-25(0)	1			
1_28	1	Aluminio, 6061-T6	0,13	2,712
2_30	1	Acero inoxidable	0,02	7,750
SMC racor angular cilindro KJL23-01S	2	Polipropileno, alto impacto	0,00	0,913
		Total peso:	0.92	Kg

Figura 4.18 Despiece y peso de la garra diseñada

Para calcular las solicitaciones a las que está expuesto el modelo se ha supuesto el caso de levantar el objeto con aceleración del 10g. Para ese caso y suponiendo un coeficiente de rozamiento 0,5 sin considerar la adaptación a la forma del objeto podemos establecer.

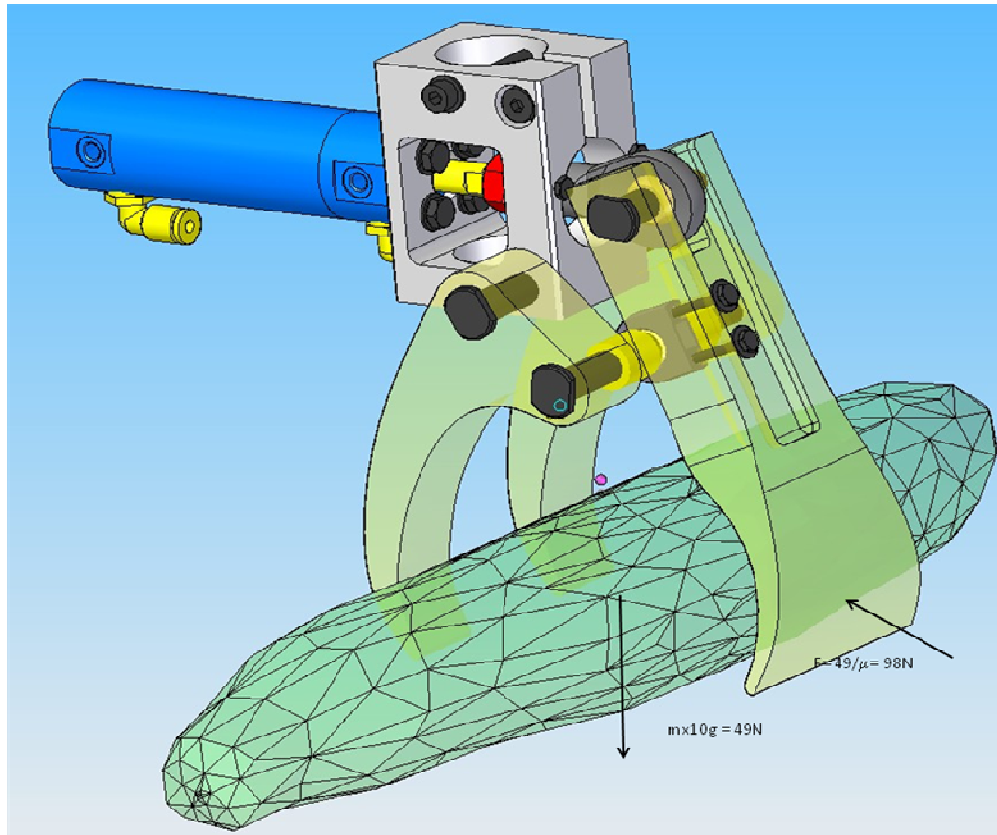


Figura 4.19 Solicitaciones necesarias para agarrar el producto

Coef rozamiento garra-pepino	0,5
Peso estimado pepino grande	0,5 Kg
Aceleración máxima	98 m/s ²
Fuerza a compensar	49 N
Presion F a realizar	49 N

Para analizar la relación entre los esfuerzos en pistón y en el inferior de la garra se usa el programa Visual Nastran 4D que calcula la distancia entre dos centros de coordenadas en ambos extremos de las palas. Los valores al final del recorrido (cuando la carrera es de valor pequeño o la garra esta cerrada) muestran un error en la medida debido al pivotamiento que sufre la pala cuando esta empieza a estar en contacto con el objeto.

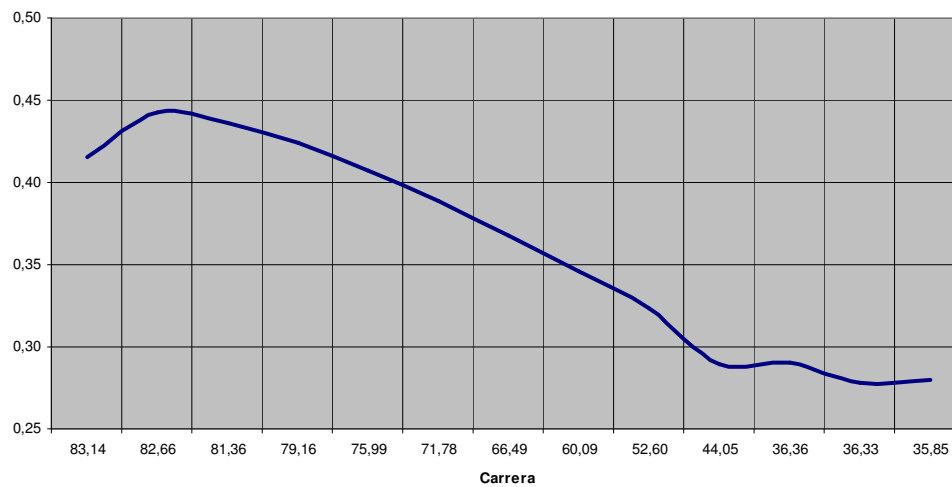


Figura 4.20. Análisis de la carrera frente a la relación carrera pistón / carrera

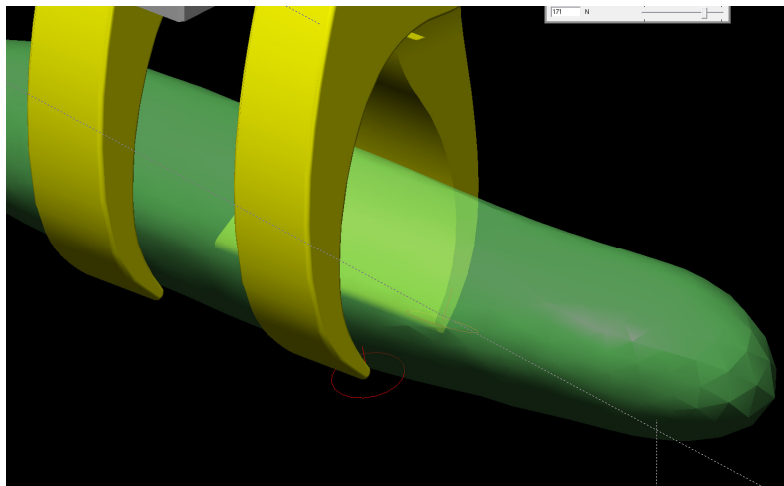


Figura 4.21 Ubicación de los sistemas coordenados de las palas para calcular la relación de esfuerzos pala contra vástago del cilindro

La relación de esfuerzos no es lineal y varía según la posición del cilindro. Entorno al área de trabajo la relación de esfuerzos es aproximadamente de 0,3.

Diametro ext	int	Presión	F empuje	F recoger	Valor mín aprox 49N		
					Factor palanca	F pala	
20	8	0,05	15,7	13,188	0,30	4,7	
		0,1	31,4	26,376		9,4	
		0,15	47,1	39,564		14,1	
		0,2	62,8	52,752		18,8	
		0,25	78,5	65,94		23,6	
		0,3	94,2	79,128		28,3	
		0,35	109,9	92,316		33,0	
		0,4	125,6	105,504		37,7	
		0,45	141,3	118,692		42,4	
		0,5	157	131,88		47,1	
		0,55	172,7	145,068		51,8	
		0,6	188,4	158,256		56,5	
		0,65	204,1	171,444		61,2	
		0,7	219,8	184,632		65,9	
		0,75	235,5	197,82		70,7	
		0,8	251,2	211,008		75,4	
		0,85	266,9	224,196		80,1	
		0,9	282,6	237,384		84,8	
		0,95	298,3	250,572		89,5	
		1	314	263,76		94,2	

Figura 4.22 Valores de presión en pala logrados en función de la presión del cilindro

El valor de presión necesario caso de trabajar con un pistón de diámetro 20 mm es de entorno a 0.55 MPa, logrando con ello una presión en el extremo de la pala de unos 50 N.

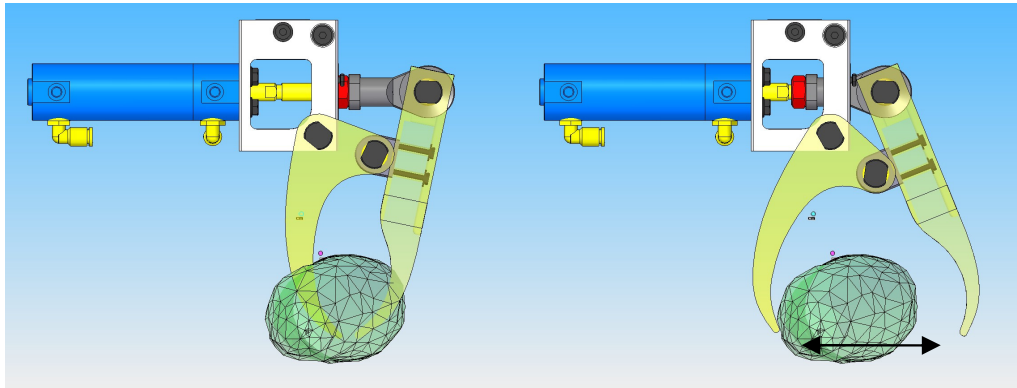


Figura 4.23 Rango de apertura. 10 a 83 mm

Tras verificar el modelo cinemática y dimensionado correcto del actuador, es necesario optimizar las piezas a mecanizar para reducir el peso. El material seleccionado es Polietileno de ultra alto peso molecular. Es apto para contacto alimentario y de fácil mecanizado. Las cargas en la pala simulan una presión de empuje para manipulación de la carga con 10g en componente transversal.

UHMW-PE > Constantes

Structural	
Young's Modulus	758, MPa
Poisson's Ratio	0,42
Density	9,7e-007 kg/mm ³
Thermal Expansion	2,3e-004 1/°C
Tensile Yield Strength	24, MPa
Compressive Yield Strength	0, MPa
Tensile Ultimate Strength	40, MPa

Figura 4.24 Características mecánicas del Ultra High Molecular Weight Polyethylene

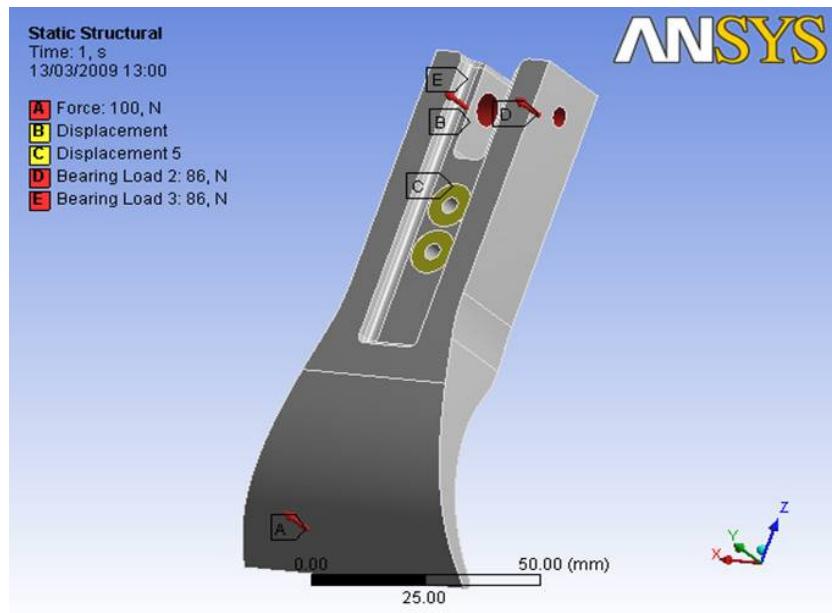


Figura 4.25 Diagrama de cargas para la pala grande

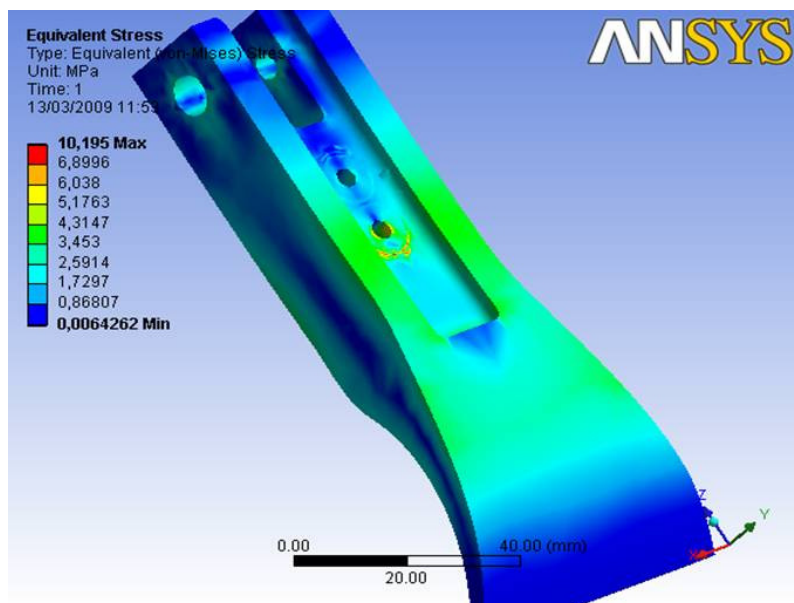


Figura 4.26 Tensión equivalente de Von Mises

El valor de la tensión equivalente según el criterio de Von Mises está por debajo del límite elástico. Para la deformación en este caso el valor máximo es de casi 2,2 mm. Este elevado valor es indicativo de una alta adaptabilidad del material al objeto lo cual beneficia la distribución de cargas. El coeficiente de seguridad del material a flexión es de 2,3.

Para las dos palas laterales.

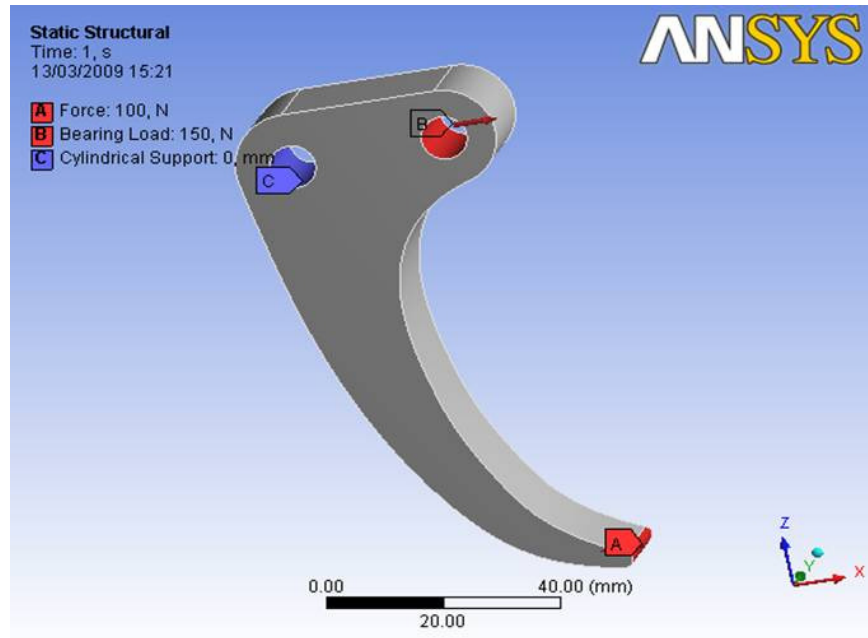


Figura 4.27 Diagrama de cargas para la pala pequeña

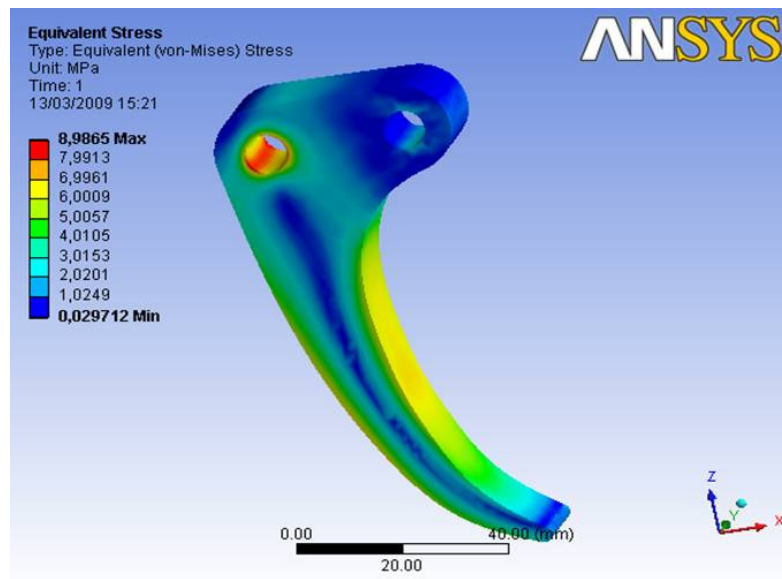


Figura 4.28 Tensión equivalente de Von Mises

El valor es menor que en la otra pala logrando una amplia zona con carga elevada a lo largo de la curva. La deformación máxima es de 4,8 mm, muy elevada facilitando así un mejor reparto de cargas entre las dos palas.

Para el caso la brida de anclaje con el robot se selecciona el material de aluminio siendo la carga máxima

Aluminum Alloy > Constantes

Structural	
Young's Modulus	71000 MPa
Poisson's Ratio	0,33
Density	2,77e-006 kg/mm ³
Thermal Expansion	2,3e-005 1/°C
Tensile Yield Strength	280, MPa
Compressive Yield Strength	280, MPa
Tensile Ultimate Strength	310, MPa

Figura 4.29 Características mecánicas del Aluminio

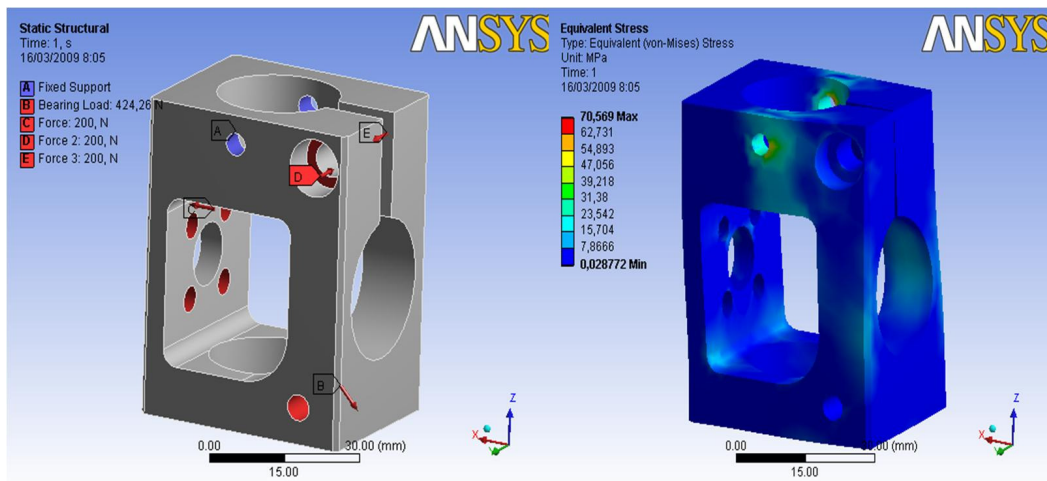


Figura 4.30 Diagrama de cargas y tensión equivalente de Von Mises para la brida de acople

Por medio de la simulación dinámica se evalúa el tiempo de agarre considerando y las características dinámicas del agarre.

- **Caso 1**

Empleando el modelo de pepino PepHol2 apoyado sobre la cinta transportadora en posición centrada respecto a la garra, con masa 0,4 Kg, coeficiente de restitución 0,01 y de fricción 0,5 y un empuje del pistón de 0,55 MPa equivalente a 171 N de empuje, coeficiente de restitución de la garra 0,01 y de fricción 0,5.

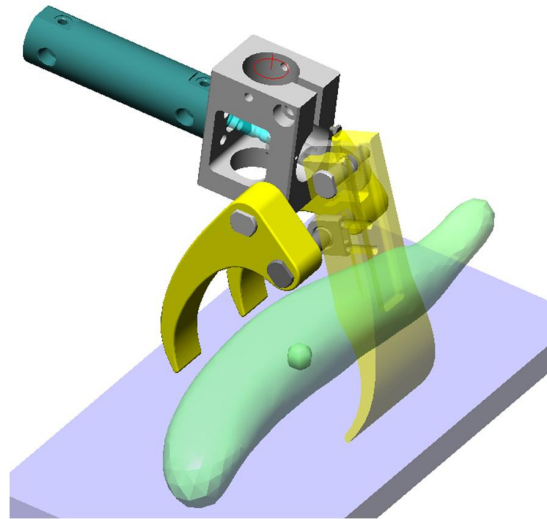


Figura 4.31 Esquema del análisis caso 1

Tiempo de cierre y estabilización, o tiempo de agarre, del producto 0,06 segundos. Notable giro del producto respecto a su eje aproximadamente unos 30°.

- **Caso 2**

Mismo ensayo con velocidad de la cinta transportadora de 500 mm/s y robot parado. El tiempo de agarre 0,06 segundos pero el producto sufre una desviación respecto a punto teórico del agarre 12 mm en sentido del eje del objeto.

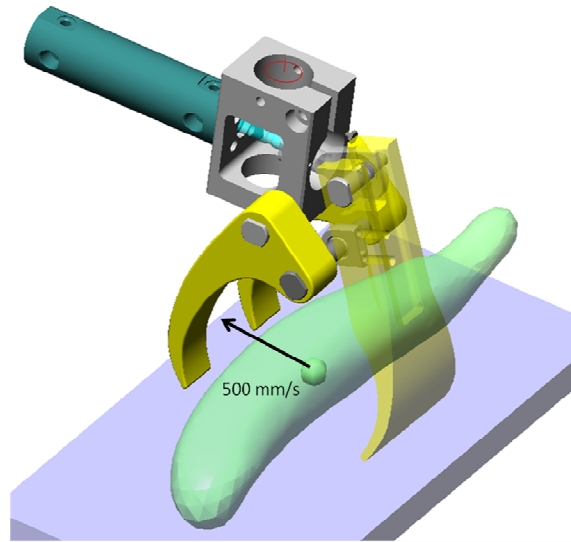


Figura 4.32 Esquema del análisis caso 2

- **Caso 3**

Mismo ensayo con el pepino desplazándose a 500 mm/s en dirección de salida del pistón. No se produce rebote entre la garra y el pepino. Desviación del producto de 10 mm en sentido del eje del objeto. Hay una influencia en la posición final de agarre si el pepino se desplaza contra la pala pivotante.

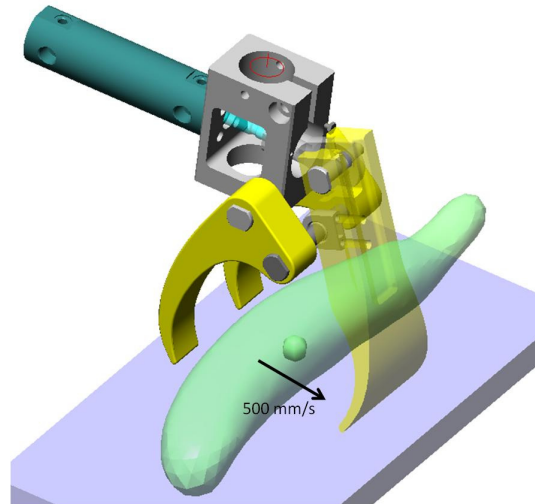


Figura 4.33 Esquema del análisis caso 3

- **Caso 4**

Repitiendo el ensayo con el modelo girado 10° respecto de la vertical. El objeto golpea contra una de las bielas no pivotantes y provoca un posterior mayor pivotamiento de la Biela lateral v18 durante el agarre. Posición final de la pieza con mayor giro final de esta. Ausencia de rebote entre la garra y el pepino. Notable giro del producto respecto a su eje aproximadamente unos 30° . Notable giro del producto respecto al eje del cilindro neumático unos 6° . Mismo tiempo teórico de cierre y estabilización del producto para su transporte 0.06 seg. Sin embargo, al tener que girar el producto los 10° desviados respecto a la vertical se produce una oscilación en el giro de este incrementando los tiempos de estabilización del producto. El tiempo hasta una estabilización total es algo más alto que en los casos 1, 2 y 3.

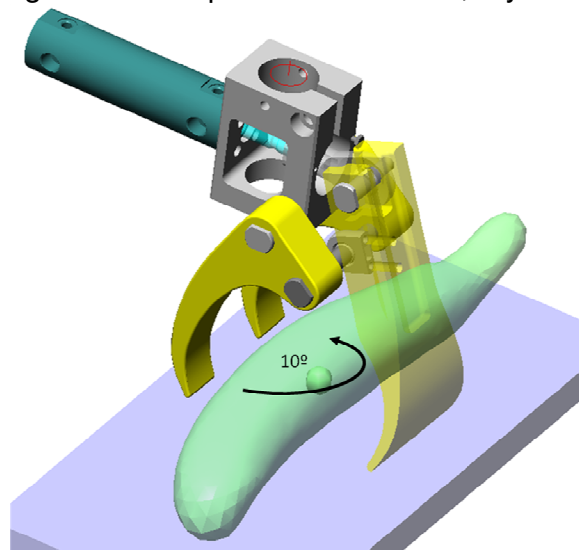


Figura 4.34 Esquema del análisis caso 4

- **Caso 5**

Repitiendo el ensayo con el modelo girado 10° respecto de la vertical. Modelo desplazado 10mm hacia la biela pivotantes con la que golpea en primer lugar. Amplio giro de la biela pivotante lateral $v18$ durante la fase de agarre unos 9° . La biela primero golpea el producto en un lateral para posteriormente girar hasta colocarse paralela al producto y golpear con la otra esquina. Posible marcado del producto por deslizamiento de la biela. Ausencia de rebote entre la garra y el pepino. Escaso giro del producto respecto a su eje aproximadamente unos 12° . Se incrementa la desviación del producto en su posición final al tratar este de escapar a un lateral. Los esfuerzos normales sobre el producto hacen que este desplace transversalmente. Al tener que girar el producto los 10° desviados respecto a la vertical se produce una oscilación en el giro de este incrementando los tiempos de estabilización del producto. Tiempo teórico de cierre y estabilización del producto para su transporte 0.06 seg. El tiempo hasta una estabilización total es algo más alto que en los casos 1, 2 y 3.

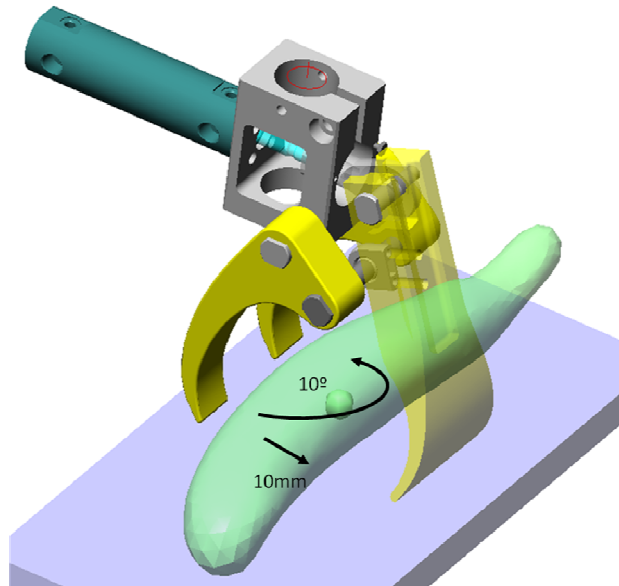


Figura 4.35 Esquema del análisis caso 5

- **Caso 6**

Modelo girado -10° respecto a la vertical. El objeto primero golpea en la biela pivotante. Características del cierre parecidas al caso 5. En este el movimiento transversal del pepino se produce en el lado contrario. Biela pivotante lateral v18 gira unos 6° . La biela primero golpea el producto en un lateral para posteriormente girar hasta colocarse paralela al producto y golpear con la otra esquina. Posible marcado del producto por deslizamiento de la biela. Ausencia de rebote entre la garra y el pepino. Se incrementa la desviación del producto en su posición final al tratar este de escapar a un lateral. Los esfuerzos normales sobre el producto hacen que este desplace transversalmente. Al tener que girar el producto los 10° desviados respecto a la vertical se produce una oscilación en el giro de este incrementando los tiempos de estabilización del producto. Tiempo teórico de cierre y estabilización del producto para su transporte 0.06 seg. El tiempo hasta una estabilización total es algo más alto que en los casos 1, 2 y 3.

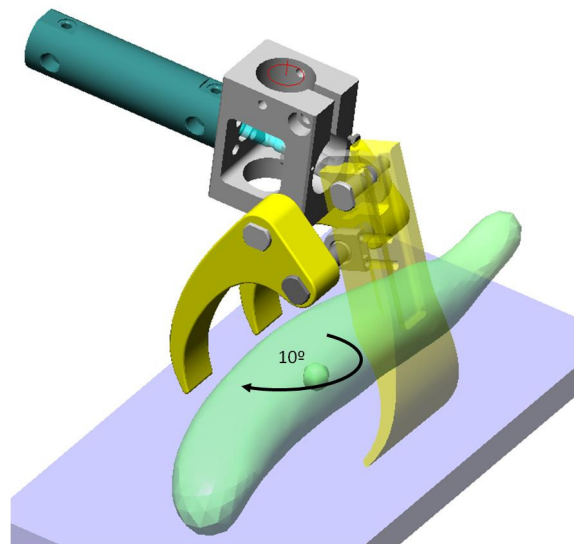


Figura 4.36 Esquema del análisis caso 6

- **Caso 7**

Modelo girado -10° respecto a la vertical. El objeto primero golpea en las bielas fijas, estando desplazado 10 mm, respecto al caso 6 hacia esta biela. Al golpear la biela sobre el objeto, este rebota enviando el objeto a la pala pivotante ascendiendo sobre esta generando un pivotamiento notable del objeto respecto de un eje paralelo al cilindro (8°) y respecto a si mismo (unos 34°). Como en los casos anteriores al estar girado el objeto se produce una oscilación giratoria respecto al eje vertical hasta estabilizar el producto.

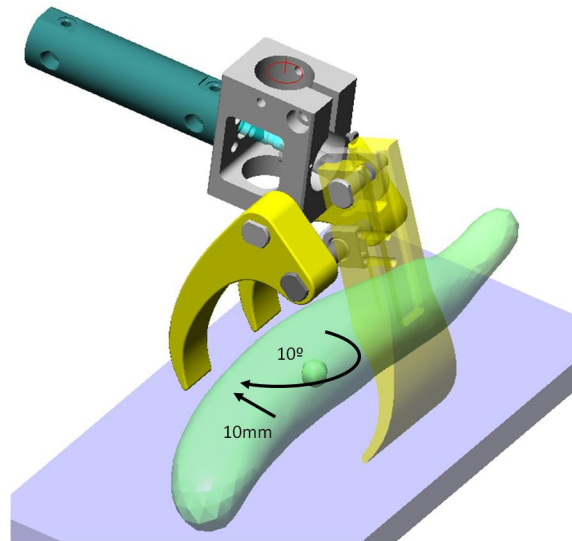


Figura 4.37 Esquema del análisis caso 7

- **Caso 8**

Modelo centrado entre ambas bielas y desviado 10mm en sentido transversal. El desvío lateral del centro de gravedad no influye significativamente en la posición final. Los tiempos de estabilización del producto son mejores que con estos desvíos que con respecto a los longitudinales.

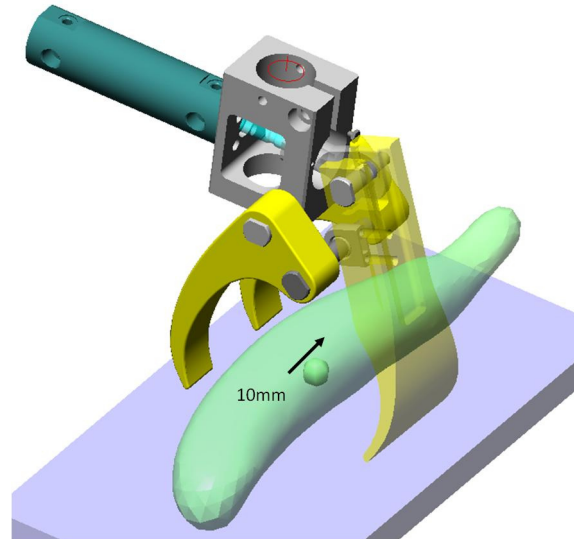


Figura 4.38 Esquema del análisis caso 8

- **Caso 9**

Modelo centrado entre ambas bielas y desviado -10mm en sentido transversal. Resultados muy similares al caso 7.

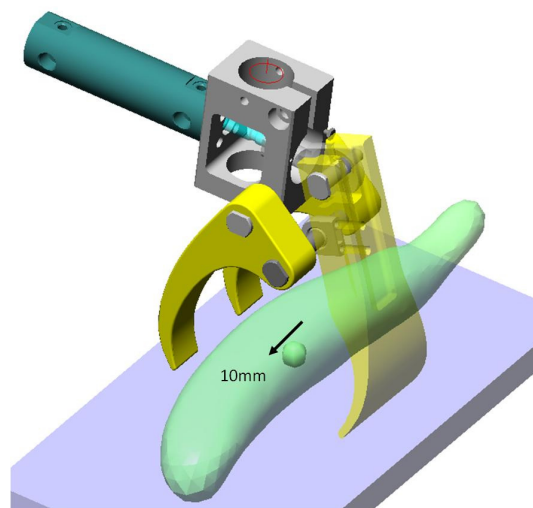


Figura 4.39 Esquema del análisis caso 9

- **Caso 10**

Modelo centrado entre ambas bielas. Pepino holandés modelo PepHol1 de forma tipo irregular tipo cónica y de masa elevada 0,7 Kg. La biela v18 pivotante llega a su tope de giro respecto la vertical ($10,5^\circ$) realizando tope sobre los casquillos separadores. Se produce un deslizamiento del objeto, una vez que este está agarrado, en sentido lateral. La forma cónica del objeto obliga a este a fluir en sentido transversal. Potencial inestabilidad del agarre tras asir el objeto.

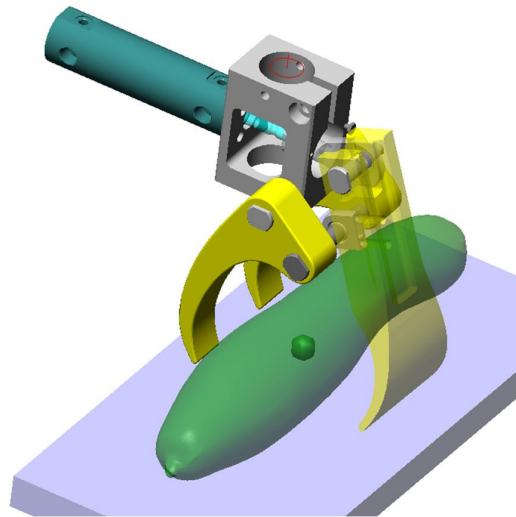


Figura 4.40 Esquema del análisis caso 10

- **Caso 11**

Modelo centrado entre ambas bielas pero girado 10° respecto a la vertical. Pepino holandés modelo PepHol1 de forma tipo irregular tipo cónica y de masa elevada 0,7 Kg. El objeto resbala transversalmente al no poder girar más la pala pivotante respecto a la vertical y presentarse la forma irregular del producto con un ángulo superior a 10° . Potencial inestabilidad del agarre tras asir el objeto, este se desplaza en la cota y (solución final no converge a partir de 0,616 seg).

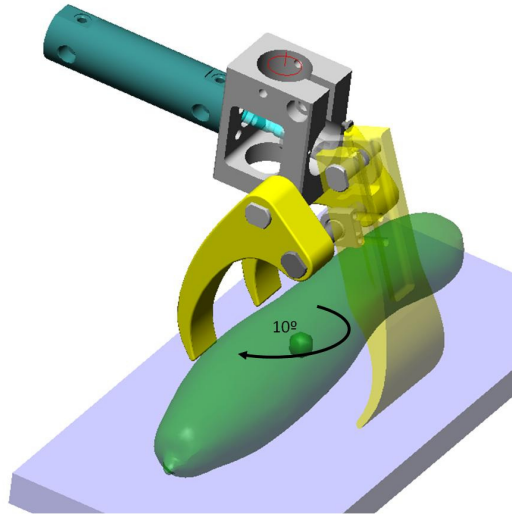


Figura 4.41 Esquema del análisis caso 11

- **Caso 12**

Modelo centrado entre ambas bielas y agarrado. Pepino holandés modelo PepHol3 de 509 gramos. Aceleración vertical de 10g. Mismo esfuerzo de cierre 170N en cilindro. Dificultad para encontrar soluciones convergentes, necesidad de variar el paso de integración. El objeto gira en torno a si mismo provocando una ligera desviación transversal de la carga provocando facilitando su expulsión de la garra. La inestabilidad del objeto se produce al cabo de 1,5 segundos, tiempo suficiente como para recorrer en z más de 100 metros. Según la simulación no existe contacto en una de las bielas laterales paralelas, la otra trabaja en su mayoría del tiempo por la parte central. Se aprecia una posibilidad de mejora mecanizando las palas en forma de cuña y/o con pequeños resaltes laterales para enclavar el objeto y/o aumentar el coeficiente de fricción con protecciones de silicona.

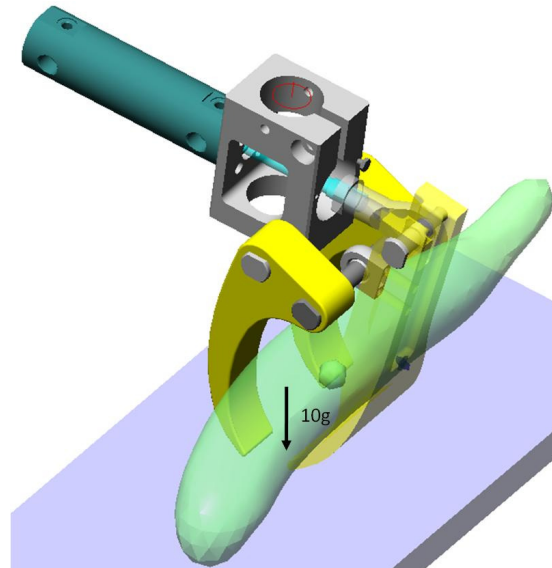


Figura 4.12 Esquema del análisis caso 12

- **Caso 13**

Modelo centrado entre ambas bielas y agarrado. Pepino holandés modelo PepHol3 de 509 gramos. Aceleración transversal de 2g. Estabilidad, en posición, del objeto al cabo de 0.32 segundos, tiempo suficiente como para recorrer transversalmente más de 1 metro. La prueba realizada con aceleración transversal de 3g da inestabilidad por debajo de 1 metro recorrido. En otras simulaciones con -2g la inestabilidad del objeto se presenta a partir de 0,13 segundos (0,16 metros). Mismas consideraciones de mejora que en caso 12

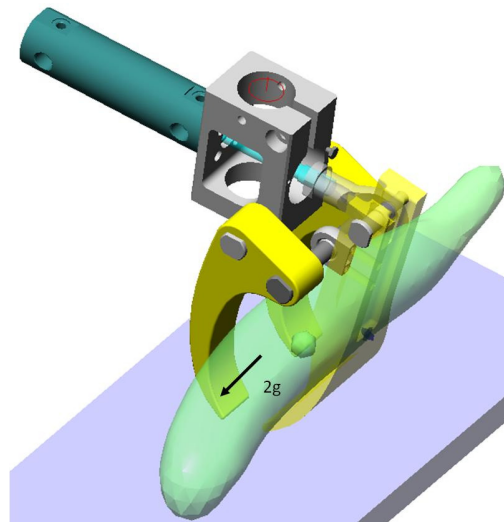


Figura 4.13 Esquema del análisis caso 13

- **Caso 14**

Modelo centrado entre ambas bielas y agarrado. Pepino holandés modelo PepHol3 de 509 gramos. Aceleración longitudinal de 10g. Estabilidad, en posición, del objeto de forma indefinida, tiempo suficiente como para recorrer longitudinalmente más de 1 metro. Notable giro del producto durante el proceso. La pala pivotante oscila. Al acelerar a 10g en dirección longitudinal y sentido de la pala pivotante no se produce oscilación de la pala pivotante, ni giro del producto. El agarre es más estable. Oportunidad de mejora cargando la pala pivotante en este tipo de movimientos.

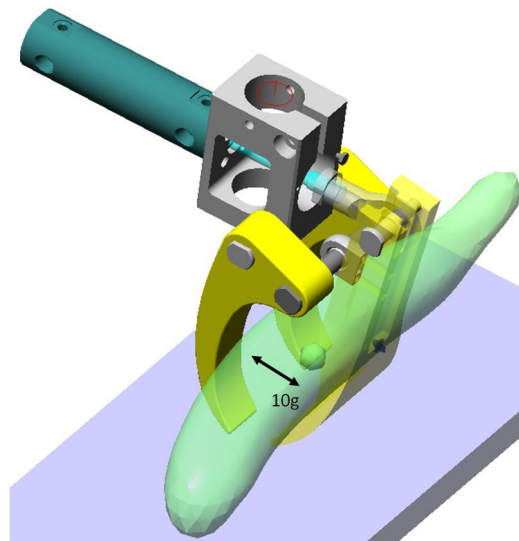


Figura 4.44 Esquema del análisis caso 14

- **Caso 15**

Modelo centrado entre ambas bielas y agarrado. Pepino holandés modelo PepHol3 de 509 gramos. Aceleración angular vertical de 1200 rad/s^2 . La pala pivotante acompaña al objeto durante las fases de aceleración manteniéndose paralelo a este facilitando así la capacidad de transferir el par. Una aceleración de 1200 rad/s^2 en un giro de aproximado de 180° no es inestable. Mayores giros provocan el desprendimiento del objeto. La posición desplazada del centro de masas del objeto respecto al eje de giro implica un esfuerzo normal que junto con la aceleración transversal provoca un desprendimiento parcial del objeto respecto de su posición de equilibrio. Con aceleraciones de 700 rad/s^2 se pueden realizar giros de más de 360° sin desalineamientos significativos del objeto respecto de la garra. Las pruebas realizadas con PepHol 2 de 271 gr a 170N de cierre con giro de unos 135° a 1200 rad/s^2 y aceleración vertical de 10g muestra una estabilidad casi total del objeto sin que se produzca movimiento relativo entre los objetos. Para el caso de giro 360° con aceleración 1200 rad/s^2 y aceleración vertical de 10g el objeto se muestra estable pero con una desviación significativa respecto de su posición original. Es recomendable mantener los 170 N de presión para lograr giros a alta velocidad y estos deben estar acotados a menos de 180° para productos tamaño normalizado.

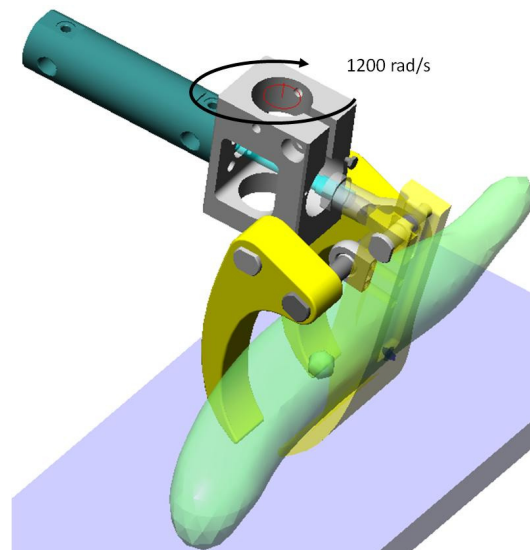


Figura 4.45 Esquema del análisis caso 15

- **Caso 16**

Modelo centrado entre ambas bielas y agarrado. Pepino holandés modelo PepHol3 de 509 gramos. Suelta del producto por medio de una presión negativa de cilindro de 144N de fuerza efectiva. El tiempo de apertura de las bielas esta entorno a 0,0065 segundos (para un empuje de -50N son necesarios 0,01 seg). A partir de este tiempo el robot puede retirarse en vertical. Para el caso de liberación del objeto en dirección longitudinal el tiempo a esperar es de 0,1 seg. A partir de este tiempo el robot puede desplazarse en el plano horizontal.

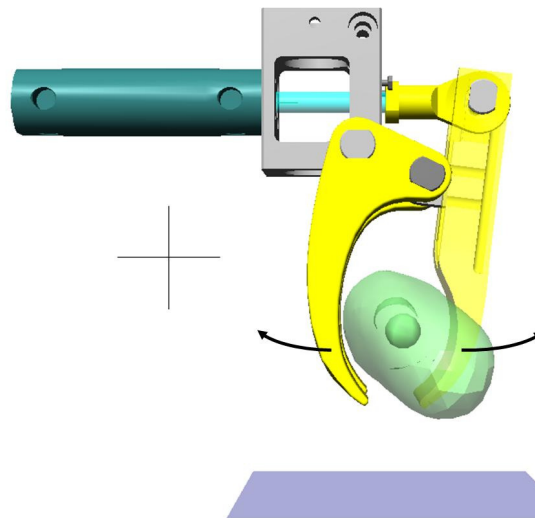


Figura 4.46 Esquema del análisis caso 16

Características dinámicas del modelo Proto_11_pep_v2		
Carga Nominal	500	g
Carga máxima analizada (con reducción de aceleración)	750	g
Máxima conicidad admisible del objeto en zona de agarre	10	º
Presion trabajo (carga <500 g)	0,55	Mpa
Aceleración máxima		
Vertical	10g	m/s ²
Longitudinal	2g	m/s ²
Transversal (mejor contra la pala pivotante)	10g	m/s ²
Giro eje vertical (hasta 180º)	1200	rad/s ²
Precisión necesaria en posición del objeto		
Giro entorno a su eje	+/-10	º
Desplazamiento máximo transversal de CDG respecto a TCP de garra	+/-10	mm
Desplazamiento máximo longitudinal de CDG respecto a TCP de garra	+/-10	mm
NOTA: Conviene objeto este centrado o desplazado hacia las palas no pivotantes		
Precisión del agarre		
Giro entorno a su eje	+35	º
Desplazamiento máximo longitudinal en agarre	+/-12	mm
Giro en agarre en eje vertical	+/-6	º
Giro en agarre en eje transversal	+ / 8	º
Tiempo de agarre (falta el retraso neumático del cilindro)	0,06	s
Tiempo de suelta para retirada vertical	0,0065	s
Tiempo de suelta para ascenso horizontal	0,1	s
Velocidad relativa admisible entre cinta y robot	500	mm/s

Figura 4.47 Principales características dinámicas de la garra

Es destacable la escasa precisión en el agarre para los modelos mostrados por ello es necesario diseñar el conjunto de la célula teniendo en cuenta estos amplios márgenes. Para necesidades especiales es recomendable realizar ensayos en donde analizar la viabilidad de ampliar estos datos.

Tras el análisis de los resultados dinámicos del modelo las principales mejoras son:

- 1.- Aumento coeficiente de rozamiento de las palas

Esto evita que el objeto se deslice sobre el eje longitudinal y aumenta la precisión del agarre en especial puede mejorar el pivotamiento respecto al eje longitudinal.

2.- Uso de pala de forma ligeramente cónica de la pala pivotante respecto a su eje vertical

Mejora la capacidad de adaptación de forma para aumentar el contacto al ser más paralelas ambas superficies, por el contrario aumenta la complejidad de mecanizado de la pala y obliga a solo poder usar una forma de agarre del objeto.

3.- Colocación de muescas en los extremos de la garra

Mejora la capacidad de agarre evitando que el objeto se pueda escapar

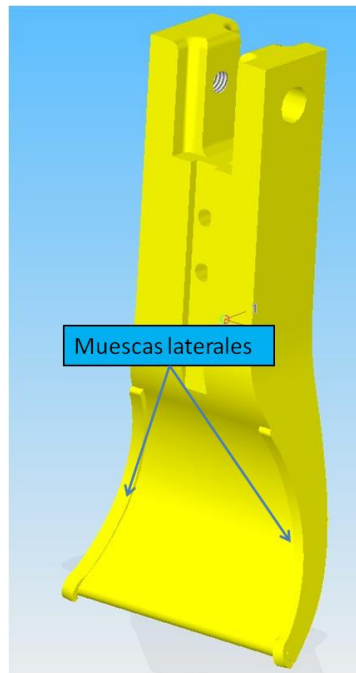


Figura 4.48 Mejora de la pala rígida

Todas estas mejoras tienen por el contrario una mayor posibilidad de producir desgarros en el producto ya que al no poder deslizar la piel se daña por exceso de esfuerzos cortantes.

4.3.2. Análisis circuito neumático

Para analizar la dinámica del cilindro se emplea el software de SMC *Pneumatic Model Selection Program*.

La aplicación necesita de entrada la masa que debe mover para ello utilizamos el gráfico de aceleración de la rotula sacado de la simulación dinámica.

Aceleración de la Rotula hembra Iigus EBRM-08_3		
time (s)	Ax (mm/s ²)	Masa equivalente (Kg)
0	-1914555	-0,0893
0,0005	-1506157	-0,1135
0,001	-1531719	-0,1116
0,0015	-1539934	-0,1110
0,002	-1490501	-0,1147
Masa media		-0,1081

Figura 4.49 Cálculo de masa equivalente de empuje en vacío

Seleccionamos un cilindro con amortiguación neumática en topes de diámetro 20 y carrera 25 mm. El esquema neumático se hace sin sistema de control de velocidad para reducir el tiempo de ejecución. Se emplea una válvula 5/2 doble pilotada de alta velocidad. Esta debe estar colocada cerca del pistón para reducirlos retrasos dinámicos del fluido. La presión neta necesaria de trabajo para una fuerza neta de 171N es de 0,55 MPa en cabeza de pistón. Con las pérdidas la presión bruta de alimentación aguas arriba es de 0,68 Mpa. Este esquema nos permite el siguiente diagrama de trabajo en vacío.

Selection of Cylinder Selection System--Chrst. Calculation(Standard circuit)

10/06/2009 13:18:27
1 of 2

Title: proto pep v2 tesina v2

Registrant: proto pep v2 tesina v2 registration date: 10/01/2009

Input Model No.

Input Item Number	
Cylinder:	CG1[A20-25[]
Solenoid valve:	VQZ1121[]-[]-C6
Manifold:	
Silencer:	AMC220
Piping R:	TU0604[]
Piping L:	TU0604[]
Quick exh valve:	
Speed Controller R:	
Speed Controller L:	

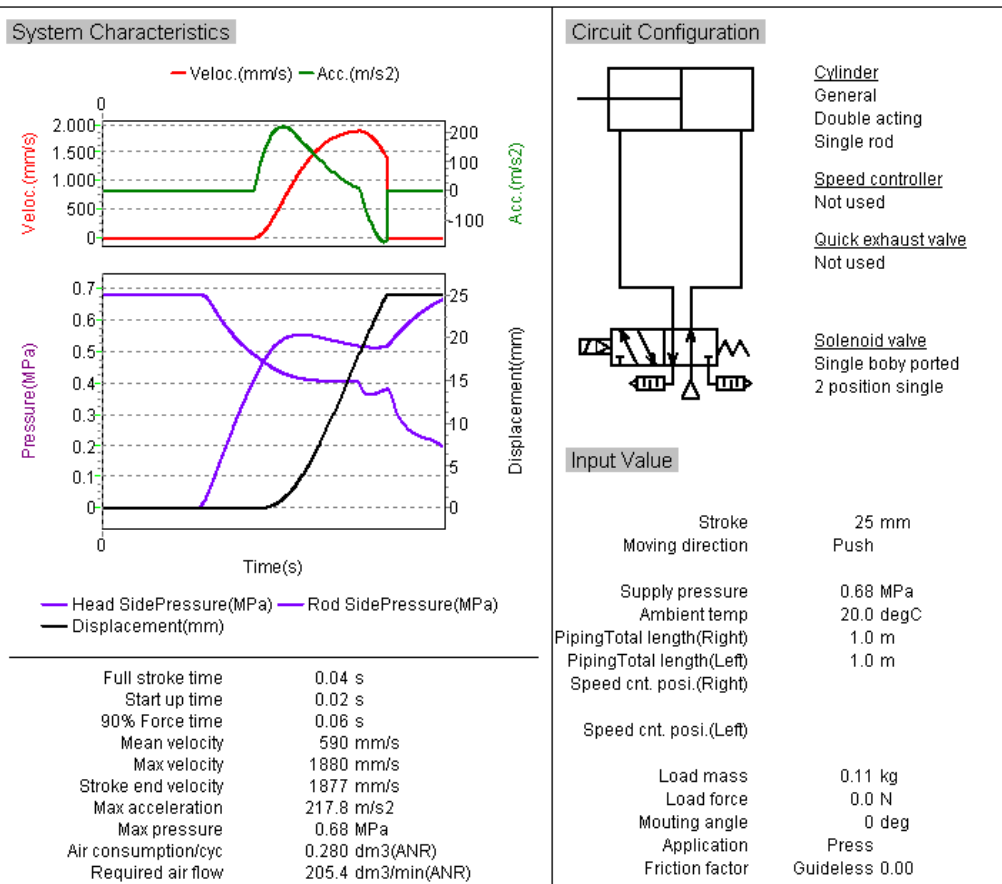


Figura 4.50 Características del circuito neumático de la garrá. Análisis de tiempos de retraso.

Este modelo trabajando en vacío la energía absorbida es de 0,31J y la disponible 0,34J, este valor permite que la garrá pueda llegar a trabajar en vacío a una presión de 0,9MPa sin necesidad de añadir controles de velocidad a la entrada o salida.

Reduciendo la longitud de los latiguillos neumáticos se puede mejorar el tiempo de respuesta, pero esto implica un mayor peso en la garra al colocar sobre el cilindro la electroválvula con las dificultades de que esta debe estar muy bien protegida para facilitar la limpieza de la garra con agua a presión. La mejora en velocidad puede estar entorno a 0,01 segundos en cierre pero necesitaría de un sistema de control de velocidad para absorber la energía en caso de trabajo en vacío. La presión necesaria de trabajo también se ve reducida a 0,59 MPa al reducir las pérdidas de carga neumática en los conductos.

Aplicamos un retraso en la carga del cilindro con un escalón desde el inicio hasta 171N al cabo de 0,015 segundos. A este tiempo es necesario sumar el retraso de la actuación del sistema de electroválvulas de 0,02 segundos. Representando el modelo en Visual Nastran 4D.

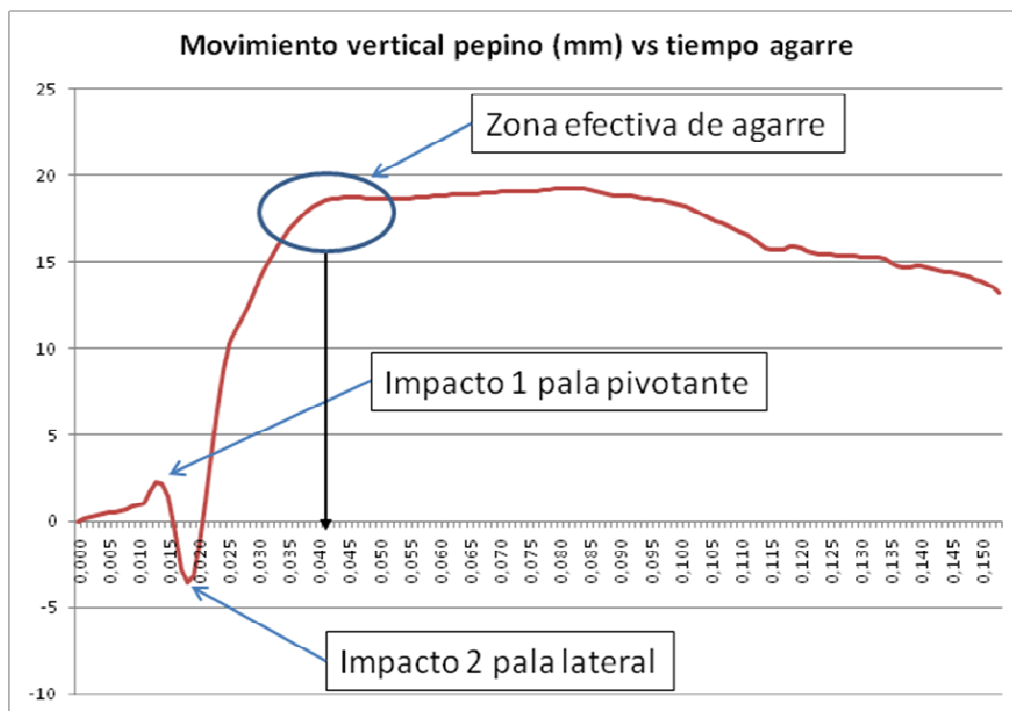


Figura 4.51 Movimiento vertical del objeto durante el agarre

La garra integrada con el esquema neumático mostrado modifica sus características. Al tiempo de agarre efectivo del producto entorno a 0,04 segundos a los que se debe sumar los 0,02 segundos de retraso de activación. El tiempo de agarre efectivo resultante en objeto centrado es de 0,06 segundos. Con el objeto desviado se incrementan los tiempos efectivos de agarre por lo que es prudente dar un margen

de 0,02 segundos más siendo el tiempo efectivo de agarre para objeto dentro de tolerancias de 0,08 segundos desde señal de activación de electroválvula.

Respecto a los tiempos de suelta también se modifican añadiendo un retraso de 0,02 segundos.

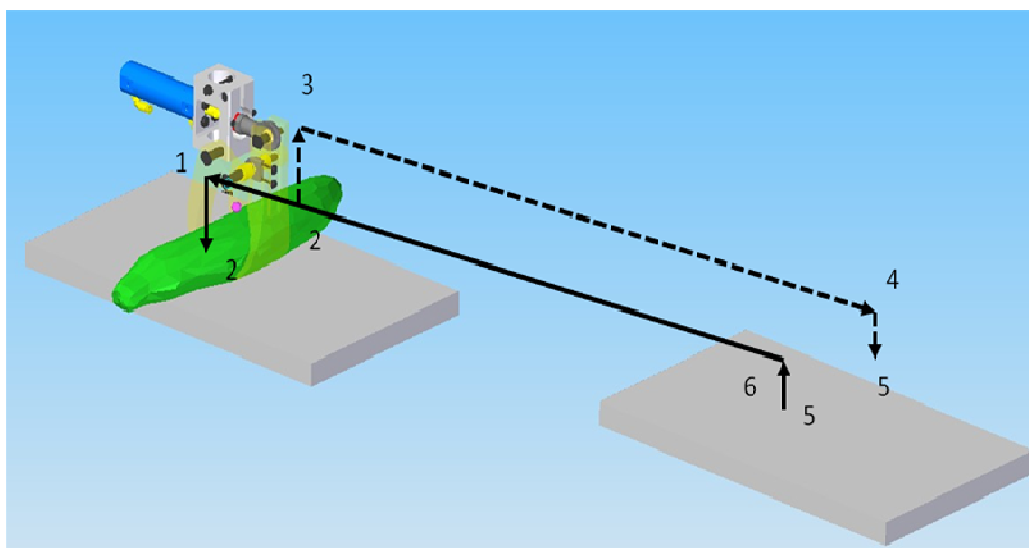


Figura 4.51 Flujo de proceso de la operación Pick & Place

El tiempo ciclo final para una operativa de movimiento de 700 mm es de 0,75 segundos por debajo del objetivo de 1 segundo/ciclo.

Paso	Descripción	Aceleración (m/s ²)	Movimiento (mm)	Tiempo estimado (s)	Subtotal (s)
1-2	Aproximación al objeto	10	50	0,14	0,14
	Cierre garras y estabilizar producto			0,08	0,22
2-3	Elevar garra	100	50	0,04	0,27
3-4	Desplazamiento hasta cerca de 4	100	700	0,17	0,43
4-5	Aproximación a destino	10	20	0,09	0,52
	Soltar producto			0,0265	0,55
5-6	Retirada vertical	100	20	0,03	0,58
6-1	Retorno a posición inicial	100	700	0,17	0,75

Figura 4.52 Diagrama de flujo definitivo

Capítulo 5. Conclusiones

El presente trabajo muestra una revisión del estado del arte en la manipulación robotizada y las posibilidades de uso de diversas tecnologías para operaciones *Pick & Place* en el sector hortofrutícola. La garra empleada debe integrarse con el resto de equipos con los cuales interactúa. El conjunto de garra, distribución de equipos y robots debe ser un único equipo para la función deseada.

En operaciones *Pick & Place* es imprescindible analizar las necesidades buscadas para manipular el objeto. La accesibilidad al producto, orientación, aceleraciones máximas buscadas, tomas de neumáticas, eléctricas, protección contra colisiones sobrecargas o desalineamientos son imprescindibles para conseguir una correcta integración de la garra en el equipo.

Para caso de productos hortofrutícolas el bajo costo y reducido peso del producto hace imprescindible el uso de un bajo tiempo ciclo por lo que los robots de cadena cerrada y, en menor medida, los articulados cilíndricos, se adaptan a estas necesidades. La mayor dificultad radica en el diseño de sistemas que permitan esa manipulación de objetos delicados y de formas irregulares.

Los altos costes salariales de los países desarrollados y las mejoras en el transporte hacen inevitable reducir costes para mantener la producción en países desarrollados. El incremento de productos envasados en el mercado, el aumento en el rigor de las normas higiénicas, la necesidad de reducir riesgo laborales y costes y la necesidad controlar la calidad del producto, invitan a desarrollar tecnologías que permitan el uso de robots para estas tareas.

Las formas irregulares de los productos hortofrutícolas y la necesidad de no dañar el producto precisan buscar soluciones de manipulación que permitan una alta adaptabilidad a una gama de productos. La manipulación hortofrutícola con robots en operaciones *Pick & Place* requiere una alta velocidad de agarre y transporte por ello la probabilidad de causar magulladuras es muy alta. La actual documentación existente para el diseño de garras se basa en productos con alta uniformidad y firmeza. El diseñador debe adaptar la garra a una gama del producto. En base a la teoría de contacto de Hertz para reducir los esfuerzos que se producen en el contacto entre la pala y el objeto hay que:

- Reducir el modulo de elasticidad de la pala.
- Aumentar el área de contacto. La curvatura de la pala debe de ser más próxima a la del objeto.
- Reducir el valor nominal de esfuerzo de cierre.
- Reducir la velocidad del contacto.
- Reducir la masa de la pala.

Las ventosas constituyen uno de los sistemas de mayor adaptabilidad a diversas formas, nuevos materiales más flexibles y resistentes a desgaste son nuevas oportunidades de uso por el contrario en general se precisan sistemas de succión de alto consumo energético, presentan dificultades al trabajar en entornos o con productos sucios y la durabilidad puede estar muy limitada. Las garras mejoran la situación para ambientes y productos sucios, son de bajo consumo energético, escaso mantenimiento y alta duración, por el contrario la capacidad de adaptación a diversidad de formas es limitada y el riesgo de dañar el producto alto. Los mecanismos por el contrario logran sistemas que pueden adaptarse a diversidad de formas logrando una alta durabilidad pero incrementan la complejidad, el peso y el tiempo ciclo.

La combinación de sistemas prensiles, ventosas y sistemas de inflado de globos ha sido empleada en prototipos para cosechar productos hortofrutícolas.

Sectores como el cárnico, bollería industrial o pescado ya existen sistemas de manipulación robotizada. Los principales integradores de estos equipos están desarrollando garras que se adapten a las formas y tolerancias específicas de cada producto. Esto requiere de la experiencia y pericia del diseñador. Estos mecanismos parten de la base de sistemas fiables, robustos, sencillos y de bajo peso que permitan rentabilizar las instalaciones.

El uso conjunto de ventosas, mecanismos y sensores permite diseñar garras que aprovechan las ventajas de ambos sistemas para acceder a la complicada tarea de manipulación de productos hortofrutícolas. Por el contrario el aumento en la complejidad y peso de sistemas combinados requiere aplicar el ingenio del diseñador, para simplificar y reducir el peso, con materiales plásticos de altas propiedades mecánicas, y mejorar la capacidad sensorial con sensores de última generación. Por el contrario se puede lograr la manipulación deseada sin agarrar el producto. Empujar, recoger, trasladar, rotar, posar o girar en torno a si mismo puede lograr la manipulación buscada para lo cual es conveniente reducir las necesidades de manipulación.

Durante el desarrollo de este trabajo se han revisado las actuales técnicas de diseño de garras para robots. La documentación hasta la fecha se ha basado en la manipulación de sólidos rígidos por lo que las consideraciones de diseño se han analizado para extrapolar las nuevas necesidades en la manipulación de productos hortofrutícolas.

Como conclusión se presenta el desarrollo de una garra que busca la aunar todas las consideraciones anteriores y con la cual se emplean las últimas tecnologías disponibles:

- Escaneados tridimensionales de productos.
- Modelo virtual de CAD tridimensional.
- Análisis por elementos finitos para optimizar formas y materiales a emplear
- Se han revisado diversos materiales plásticos para lograr una mayor optimización del peso y mejora de los esfuerzos de contacto.
- Análisis cinemático y dinámico del mecanismo logrando todos los parámetros necesarios que rigen las características de la garra.
- Análisis de la fluido dinámica del esquema neumático para ver su interacción con la garra.

El modelo realizado busca la mayor aproximación a las necesidades del mercado buscando fiabilidad, robustez y sencillez. Se integra de forma fácil en el robot de ABB Flex Picker IRB 340.

5.1. Futuras acciones

1) Mejora de la simulación dinámica

El sistema mostrado logra notables avances en el proceso de diseño de garras para una gama de objetos irregulares consiguiendo parámetros dinámicos difícilmente cuantificables si no se dispone de pruebas reales. La veracidad de los datos puede discrepar al haber estimado datos como:

- Coeficientes de rozamiento fijos para ejes y rotulas.
- Simulación de contacto entre sólidos rígidos con un coeficiente de restitución y rozamiento fijos.

Los experimentos con modelos reales pueden mejorar ayudar a conocer mejor como ajustar estos parámetros.

2) Posibilidad de realizar nuevas operaciones

Existen algunos prototipos que pretenden incorporar nuevas funciones al agarre. Aprovechar la garra para conseguir información sobre el producto como color, peso y textura, o para realizar operaciones adicionales como cortar o marcar, puede ser un buen método para futuras operaciones en control de calidad, clasificación y procesado de los productos.

La evolución en coste y prestaciones de los sistemas sensoriales facilita la implementación de estos sistemas en la garra. Un simple acelerómetro colocado en la pala puede valer como método de control del contacto o lograr por medio del análisis de respuesta en frecuencia se puede llegar a estimar la madurez del producto.

3) Definición de las condiciones ideales de manipulación

La falta de propiedades mecánicas definidas de los productos hortofrutícolas hace imprescindible de la experimentar para lograr conocer la presión máxima admisible. Los principales factores a tener en cuenta en el producto son:

- Temperatura
- Humedad del fruto
- Grado de madurez



El uso de frutos electrónicos puede ayudar a realizar ajustes en la implantación industrial de la garra en la línea de montaje o caracterizar esta, en el laboratorio, para definir los valores máximos admisibles de presión nominal de agarre y evitar llegar a las aceleraciones máximas admisibles y el tiempo de aplicación.

Referencias

- [1] The European e-Business Market Watch. The ICT and e-Business in the food and beverage industry. Sector Report. No. 1/ 2006.
- [2] Ceccarelli M., Nieto J., “El Agarre con Pinzas de Dos Dedos “ 1º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Madrid, Vol 4, 1993, pp. 171-176.
- [3] ANSI DIN EN 1672-2 Food processing machinery – Basic concepts – Part 2: Hygiene requirements
- [4] Seliger, G.; Stephan, J.: Flexible Garment Handling with Adaptive Control Strategies. The 29th International Symposium on Robotics 1998
- [5] G. Seliger, J. Stephan, S. Lange: Non-Rigid Part Handling by New Gripping Device. Robotica [0263-5747] Sharp Año:1997 vol.:15 pág.:331 -335
- [6] T. Zhu, R. Liu, Xu D. Wang, K. Wang Principle and application of vibrating suction method. 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Vols 1-3 Liu Año:2006 pág.:491 -495
- [7] G. Manriota Theoretical model of the grasp with vacuum gripper Mechanism and machine theory [0094-114X] Año:2007 vol.:42 iss:1 pág.:2 -17
- [8] G. Manriota Optimal grasp of vacuum grippers with multiple suction cups. Mechanism and machine theory [0094-114X] Año:2007 vol.:42 iss:1 pág.:18 -33
- [9] M. Sdahl, B. Kuhlenkoetter, CAGD- Computer Aided Gripper Design for a Flexible Gripping System. pp. 135-138, International Journal of Advanced Robotic Systems, Volume 2, Number 2 (2005), ISSN 1729-8806
- [10] F. Erzincanli, JM Sharp, S. Erhal. Design and operational considerations of a non contact robotic handling system dor non rigid materials. International Journal Machinery Tools Manufacturing. Vol 38, No. 4, pp. 353-361, 1998
- [11] S. Davis, J.O. Gray, Darwin G. Caldwell. An end effector based on the Bernoulli principle for handling sliced fruit and vegetables. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 24 (2008) 249–257

- [12] G. Dini, G. Fantoni, F. Failli. Grasping leather plies by Bernoulli grippers. CIRP annals - manufacturing technology [0007-8506] Fantoni Año:2009 vol.:58 iss:1 pág.:21-24
- [13] B. R. Rawal, V. Pare, K. Tripathi. Development of noncontact end effector for handling of bakery products. International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2008) 38:524–528
- [14] XF. Brun, SN. Melkote Evaluation of handling stresses applied to efg silicon wafer using a Bernoulli gripper. Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Vols 1 and 2 Pages: 1346-1349
- [15] Y. Bar-Cohen S. Leary, M. Shahinpoor, J. O. Harrison, and J. Smith. Flexible low-mass devices and mechanisms actuated by Electroactive Polymers 1999 Proceedings of SPIE's 6 Annual International Symposium on Smart Structures and Materials
- [16] Antonio Bicchi. Hands for dexterous manipulation and robust grasping: A difficult road toward simplicity. IEEE transactions on robotics and automation. 2000 vol.:16 iss:6 pág.:652 -662
- [17] Máximo Roa, Raúl Suárez y Jodi Cornellà Medidas de calidad para la prensión de objetos. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial 2008
- [18] Voglewede PA, Fabrizio Lotti, Gabriele Vassura. A Novel Approach to Mechanical Design of Articulated Fingers for Robotic Hands. Proceedings Of The Asme International Design Engineering Technical Conferences And Computers And Information In Engineering Conference 2007, VOL 8, Año:2008 pág.:733 -741
- [19] Shigeo Hirose, Yoji Umetani : The Development of Soft Gripper for the Versatile Robot Hand, Mechanism and Machine Theory, Pergamon Press, 13, 351-359(1978)
- [20] Patente SE No 9800945-9
- [21] Grippers in Motion. A. Wolf, R. Steinmann, H. Schunk, Pg 100 Ed Springer 2005
- [22] Kolluru R Valavanis KP, Smith SA, Tsourveloudis N, Design Fundamentals of a Reconfigurable Robotic Gripper System. IEEE transactions on systems, man and cybernetics, 2000



- [23] Benny H. B. Yeung and James K. Mills, Design of a Six DOF Reconfigurable Gripper for Flexible Fixtureless Assembly. IEEE transactions on systems, man and cybernetics, 2004
- [24] Edward C. De Meter. Projected Benefits Of Using Laag Work Holding Technology To Hold Prismatic Parts In Flexible Machining Systems. Dept. of Industrial & Manufacturing Engineering The Pennsylvania State University Park, PA January 24, 2005
- [25] G. Seliger, J. Stephan, Handling with ice - the cryo-gripper, a new approach. Assembly Automation [0144-5154] 1999 vol.:19 iss:4 pág.:332 -337
- [26] Kordi MT, Husing M, Corves B Development of a multifunctional robot end-effector system for automated manufacture of textile preformsNTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED INTELLIGENT MECHATRONICS, VOLS 1-3 Husing Año:2007 pág.:725 -730
- [27] United States Patent 6158910
- [28] Lynch KM, Mason MT, Stable pushing: Mechanics, controllability, and planning. International Journal of Robotics Research Volume: 15 Issue: 6 Pages: 533-556 Published: DEC 1996
- [29] Srinivas Akella, Wesley H. Huang, Kevin M. Lynch, Matthew T. Mason. Sensorless Parts Orienting with a One- Joint Manipulator. Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation Albuquerque, New Mexico - April 1997
- [30] A. Amagai, K. Takase. Implementation of Dynamic Manipulation with Visual Feedback and Its Application to Pick and Place Task. Proceedings of the 4th IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning Soft Research Park, Fukuoka, Japan May 28 29,2001
- [31] Ravi Balasubramanian, Alfred A. Rizzi, Matthew T. Mason. Legless Locomotion: A Novel Locomotion Technique for Legged Robots. The International Journal of Robotics Research Vol. 27, No. 5, May 2008, pp. 575–594
- [32] M. Foglia y G. Reina. Agricultural robot radicchio harvesting Journal of Field Robotics. Vol. 23, No. 6-7 pp: 363-377. Jul 2006
- [33] patente ES 2 291 935 T3

- [34] patente WO2008150164-A1
- [35] V. Vandaele, P. Lambert, A. Delchambre Non-contact handling in microassembly: Acoustical levitation. *Precision Engineering* 29, 491–505. 2005
- [36] J. A. Díaz García. PhD. Sistematización del diseño de dispositivos de levitación superconductora por efecto meissner. 2008
- [37] DT. Pham, SH Yeo. Strategies for gripper design and selection in robotic assembly. *International Journal of Production Research*. 1991
- [38] Paul M. Taylor. Presentation and gripping of flexible materials. *Assembly Automation*. 1995
- [39] Hua Lin, Paul M Taylor and Steve J Bull. A mathematical model for grasping analysis of flexible materials. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering* [0965-0393] Taylor Año:2005 vol.:13 iss:2 pág.:185 -201
- [40] Mozafar Saadat, Ping Nan. Industrial applications of automatic manipulation of flexible materials. *Industrial Robot: An International Journal*. 2002
- [41] Steve Davis, John W. Casson, Rene J. Moreno Masey, Martin King, John O. Gray and Darwin G. Caldwell. Robot prototyping in the design of food processing machinery. *Industrial Robot: An International Journal*. 2007
- [42] Peter J. Wallin. Robotics in the food industry_An update. *Trends in Food Science & Technology*. 1997
- [43] P.Y. Chua, T. Ilschner and D.G. Caldwell. Robotic manipulation of food products a review. *Industrial Robot: An International Journal*. 2003
- [44] V.C. Moulianitis, N.A. Aspragathos *, A.J. Dentsoras. A model for concept evaluation in design an application to mechatronics design of robot grippers. *Mechatronics* 14 (2004) 599–622.
- [45] Hobday M. Product complexity, innovation and industrial organization. *Res Policy* 1998;26:689–710.
- [46] R. Saravanan, S. Ramabalan , N. Godwin Raja Ebenezer, C. Dharmaraja. Evolutionary multi criteria design optimization of robot grippers. *Applied Soft Computing*. 2008

- [47] RS. Stone, PN Brett, BS Evans. An automated handling system for soft compact shaped non_rigid product. *Mechatronics* 1998
- [48] Richard Bloss. How do you quickly load cases and trays with tough to handle product?. *Industrial Robot: An International Journal*. 2006
- [49] H. Brantmark, E. Hemmingson. FlexPicker with PickMaster revolucionizes picking operations. *Industrial Robot: An International Journal*. 2000
- [50] G.J. Monkman, S. Hesse, R. Steinmann, H. Schunk, Robot Girppers. 2007 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN: 978-3-527-40619-7
- [51] REGLAMENTO (CE) No 1757/2003 de 3 de octubre de 2003
- [52] Norma europea IP/09/1059 de Bruselas, 30 de Junio 2009
- [53] S. C. Jare, E. García Pardo, (2002) "Using non-destructive impact testing for sorting fruits". *Journal of Food Engineering* 53, 89-95.
- [54] B. Diezma, A. Marañón, M. Ruiz-Altsent, L. Flore, J. Diez, (2001)"Firmeza de la fruta: determinación por métodos no destructivos" Ediciones de Horticultura 154. 1-7.
- [55] S. Narayan JHA and T. Matsuoka, (2000) Non-Destructive Techniques for Quality Evaluation of Intact Fruits and Vegetables.
- [56] M. Rao, S.H. Rizvi, K. Datta, (2005) *Engineering Properties of Foods* 0-8247-5328-3.
- [57] F.J. García Ramos, (2000) "Desarrollo de dispositivos mecánicos para minimizar daños y medir la firmeza en líneas de manipulación de frutas" PhD Dissertation ETSIA UPM.
- [58] A. L. Baritelle, G. M. Hyde (2000) "Commodity conditioning to reduce impact bruising" *Postharvest Biology and Technology* 21, 331-339.
- [59] J. Mercado, M. Orozco, G. Martínez; L. Alcántara, B. Garnica, (2005) "Aplicación del Modelo de Contacto de Hertz para la Determinación del Módulo de Elasticidad y del Módulo de Poisson en Frutos Cítricos: Lima, Limón, Naranja y Tangerina" VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos.



[60] E. Dintwa, M. Van Zeevroeck, H. Ramon, E. Tijskens (2008) “Finite element analysis of the dynamic collision of apple fruit” *Postharvest Biology and Technology* 49, 260-276.

[61] Kaoru Kohyama, Ai Nagataa, Yuko Tamaki, Naoki Sakurai. Comparison of human-bite and instrument puncture tests of cucumber texture. *Postharvest Biology and Technology*. 2008

[62] Matsuno T., Kanada K., Arai F., Matsuura H. and Fukuda T. Strategy of Picking up Thin Plate by Robot Hand Using Deformation of Soft Fingertip. *International Conference on Robotics and Automation*. 2005

[63] United States Patent US4663925. Fruit harvesting robot hand