

Diseño Basado en Brazo Robótico Kuka

A. ARELLANO, A. ARRIOLA, R. BARROSO, M. CRUZ, B. FLORES Y O. MEZA.

Escuela de Ingeniería Mecatrónica y de Diseño Automotriz, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla,
Mtro. Domingo Tépox García
Puebla 21.05.19, México

RESUMEN

El siguiente documento está relacionado con el diseño basado en el brazo robótico Kuka el cual es un robot de seis ejes en todas las dimensiones. Con distintas capacidades de carga, de alcances y en las más diversas variantes, incluyendo parque de robots usados. Son de igual manera muy ligeros, esto ayuda con el trabajo humano, para que llegue a existir una colaboración directa entre las personas y las máquinas. Son de gran resistencia al calor y a la suciedad. Por último, concatenadores de prensas con un alcance muy grande para cargar y descargar piezas grandes en concatenaciones de prensas

PALABRAS CLAVE: Seis ejes, tipo ligero, resistencia al calor, resistencia al calor, concatenadores.

Por siglos el ser humano ha construido máquinas que imitan las partes del cuerpo humano. Los antiguos egipcios unieron brazos mecánicos a las estatuas de sus dioses. Estos brazos fueron operados por sacerdotes, quienes clamaban que el movimiento de estos era inspiración de sus dioses. Los griegos construyeron estatuas que operaban con sistemas hidráulicos, los cuales se utilizaban para fascinar a los adoradores de los templos. El inicio de la robótica actual puede fijarse en la industria textil del siglo XVIII, cuando Joseph Jacquard inventa en 1801 una máquina textil programable mediante tarjetas perforadas. La revolución industrial impulsó el desarrollo de estos agentes mecánicos, entre los cuales se destacaron el torno mecánico motorizado de Babbitt en 1892 y el mecanismo programable para pintar con spray de Pollard y Roselund en 1939. Además de esto durante los siglos XVII y XVIII en Europa fueron construidos muñecos mecánicos muy ingeniosos que tenían algunas características de robots. Jacques de Vaucanson construyó varios músicos de tamaño humano a mediados del siglo XVIII. Esencialmente se trataba de robots mecánicos diseñados para un propósito específico: la diversión. En 1805, Henri Maillardert construyó una muñeca mecánica que era capaz de hacer dibujos. Una serie de levas se utilizaban como 'el programa' para el dispositivo en el proceso de escribir y dibujar. La palabra robot se empleó por primera vez en 1920 en una obra de teatro llamada "R.U.R." o "Los Robots Universales de Rossum" escrita por el dramaturgo checo Karel Capek. La trama era sencilla: el hombre fabrica un robot, el robot mata al hombre. Muchas películas han seguido

mostrando a los robots como máquinas dañinas y amenazadoras. La palabra checa 'Robota' significa servidumbre o trabajador forzado, y cuando se tradujo al inglés se convirtió en el término robot.

1. INTRODUCCIÓN

Un brazo robótico es un tipo de brazo mecánico, normalmente programable, con funciones parecidas a las de un brazo humano; este puede ser la suma total del mecanismo o puede ser parte de un robot más complejo. Las partes de estos manipuladores o brazos son interconectadas a través de articulaciones que permiten, tanto un movimiento rotacional (tales como los de un robot articulado), como un movimiento translacional o desplazamiento lineal.

Kuka

KUKA Roboter GmbH es uno de los principales fabricantes mundiales de robots industriales y sistemas de soluciones automatizadas de fabricación. El Grupo KUKA Robot cuenta con más de 25 filiales en todo el mundo, la mayoría son sucursales de ventas y servicios, en los EE. UU., México, Brasil, Japón y China, Corea, Taiwán, India ofreciendo también sus servicios a clientes de toda Europa. El nombre de la compañía KUKA es una abreviatura de Keller und Knappich Augsburg y al mismo tiempo es una marca registrada de robots industriales y otros productos de la empresa.

La compañía fue fundada en 1898 en Augsburgo, Alemania. Sus fundadores eran Johann Josef Keller y Jakob Knappich. Al principio se centraron en la iluminación pública y de casas pero poco después enfocaron su atención en otras cosas (instalaciones y herramientas de soldadura, envases y contenedores). En 1966 la empresa fue líder europea en la producción de vehículos de servicios urbanos. En 1973 se construyó su primer robot industrial, conocido como FAMULUS, trabajo pionero en aquella época. Entonces la compañía pertenecía al grupo Quandt. Pero en 1980 la familia Quandt se retiró y la empresa se convirtió en una

empresa pública. Con KUKA Schweissanlagen + Roboter GmbH se creó la técnica de robots en 1995. Hoy en día KUKA se centra en soluciones avanzadas para la automatización de procesos industriales de producción. La empresa pertenece a KUKA AG (anteriormente el grupo IWKA).

No solo se necesita un diseño preciso para el brazo KUKA, sino que también este requiere de un sistema operativo, una programación especial para que el brazo cumpla con sus tareas de manera eficiente. Este sistema es la pieza clave para el funcionamiento de cualquier robot ya que en él se encuentran todas las funciones principales que son necesarias para el robot.

2. DESARROLLO

Inicialmente, al tener el stock empezamos a pensar en la manera de acomodar las piezas sin tener que desperdiciar nuestro material, después diseñamos el cad del brazo robótico en solidworks teniendo en cuenta diferentes factores, como los tipos de operaciones y herramientas además de que debíamos hacer mejoras que con el mismo paso del proyecto notamos. Una vez hechas las piezas hacíamos el proceso de simulación con edgecam para posteriormente fabricarlo en las máquinas CNC que es el principal objetivo del proyecto. Antes de correrlo en la máquina lo graficamos en el simulador de Haas que el profesor nos proporcionó y al asegurarse de que hiciera el recorrido bien procedemos a ejecutar el programa. Al tener un stock grande solo movíamos el origen de la herramienta para no sacar la pieza y que al final solo se quedara el contorno del stock. Fue muy importante estar al pendiente del maquinado porque debía poner anticongelante/coolant por diferentes lapsos ya que al usar cortadores pequeños es fácil de que alguno se quiebre. Al obtener ya la pieza lo único que quedaba era quitarle el exceso de material en los bordes con un “pela papas”.

También se utilizó el torno para una sola pieza, al solo tener que trabajar desbasto se hizo de manera manual con la opción de hand jog, en esta parte el grado de dificultad era dejar el tamaño de las circunferencias extremas a 8 mm para que combinara con el resto del brazo. Al final solo nos encargamos de hacer las uniones con unas tuercas y rondanas.

2.1 ELECCIÓN DEL PROYECTO

Con base en las diferentes máquinas que se encuentran en los laboratorios, se realizó la elección del brazo robótico Kuka, ya que este modelo se acopla a las características que posee la máquina y el número de piezas que se encuentran en ella.

De acuerdo a esto, se realizó una tabla con las piezas ideales a maquinar.

No. de pieza	Nombre de la pieza
1	Base
2	Brazo 1
3	Brazo 2
4	Caja tubo
5	Tenaza
6	Tubo

Tabla 1.

Se prosiguió a realizar un diagrama para tomar en cuenta el proceso de fabricación.

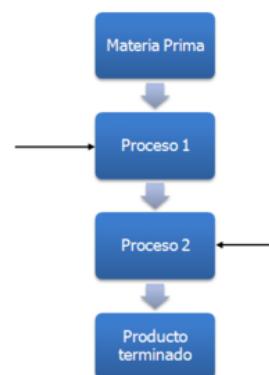


Imagen 1. Diagrama del proceso de fabricación.

En base a la imagen 1, se toma como materia prima el aluminio, prosiguiendo con el proceso 1, al maquinado de la fresadora y contemplado en ella 4 piezas. El proceso 2, la pieza no. 4 que se realizaría en el torno y como producto terminado el ensamblaje de todas ellas.

2.2 ELECCIÓN DEL MATERIAL

El material elegido fue Aluminio debido a que es un metal ligero y fácil de maquinar. Se procedió a tomar un stock y, con base en las medidas, hacer un boceto de las piezas requeridas para la elaboración de esta de acuerdo a las medidas limitadas. El aluminio es un elemento químico, de símbolo Al y número atómico 13. Se trata de un metal no ferromagnético. Es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Los compuestos de aluminio forman el 8 % de la corteza de la tierra y se encuentran presentes en la mayoría de las rocas, de la vegetación y de los animales.

El aluminio es un metal plateado muy ligero.

Bauxita

Los principales usos industriales de las aleaciones metálicas de aluminio son:

- Transporte; como material estructural en aviones, automóviles, trenes de alta velocidad, metros, tanques, superestructuras de buques y bicicletas.
- Estructuras portantes de aluminio en edificios.
- Embalaje de alimentos; papel de aluminio, latas, tetrabriks, etc.
- Carpintería metálica; puertas, ventanas, cierres, armarios, etc.
- Bienes de uso doméstico; utensilios de cocina, herramientas, etc.

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre; sólo los elementos no metálicos oxígeno y silicio son más abundantes. Se encuentra normalmente en forma de silicato de aluminio puro o mezclado con otros metales como sodio, potasio, hierro, calcio y magnesio, pero nunca como metal libre. Los silicatos no son menas útiles, porque es extremadamente difícil, y por tanto muy caro, extraer el aluminio de ellas. La bauxita, un óxido de aluminio hidratado impuro, es la fuente comercial de aluminio y de sus compuestos.



Imagen 2. Representación del aluminio seleccionado y las medidas limitadas para la realización de las piezas.



Imagen 3. Representación del stock tubular para la realización de la pieza no. 4.

2.3 ELABORACIÓN DE PIEZAS VIRTUALMENTE

Para obtener las piezas que constituyen al brazo robótico se utilizó Solidworks, ya que es ideal para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D y nos permite crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño, además para realizar la simulación, edgecam no exige un programa de manera particular.

Dentro de este programa se fue realizando la elaboración de cada una de las piezas, en base a sus dimensiones, para proseguir con el ensamblaje de estas.

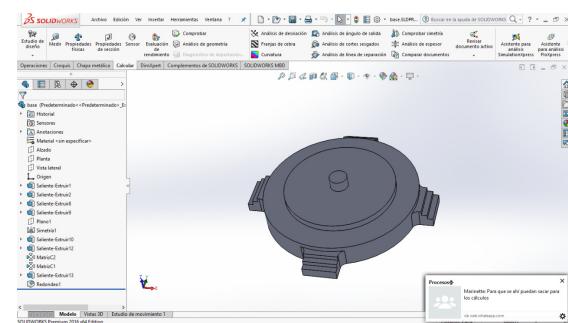


Imagen 4. Simulación de la base, con medidas ya establecidas, a través de Solidworks.

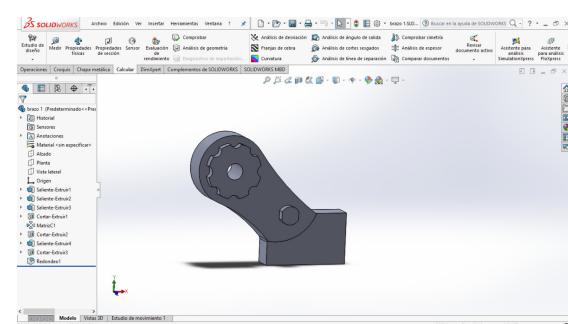


Imagen 5. Simulación del brazo 1, con medidas ya establecidas, a través de Solidworks.

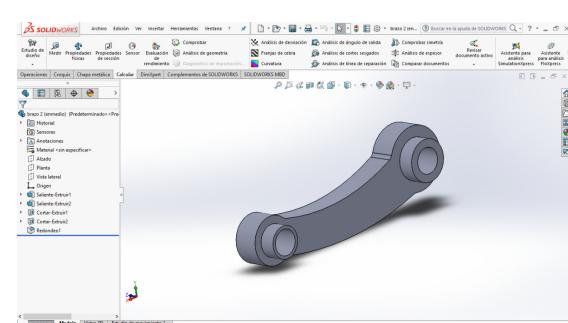


Imagen 6. Simulación del brazo 2, con medidas ya establecidas, a través de Solidworks.

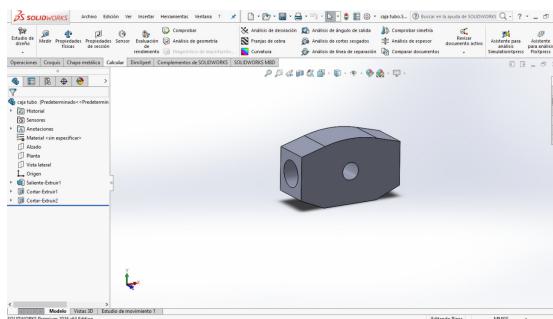


Imagen 7. Simulación de la caja tubo, con medidas ya establecidas, a través de Solidworks.

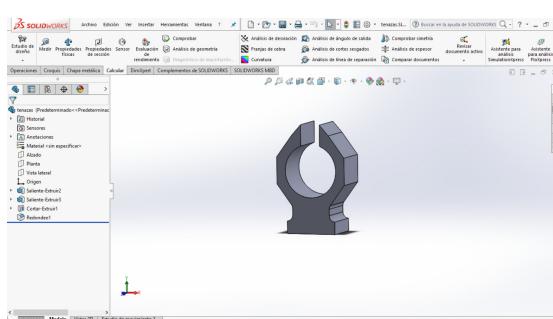


Imagen 8. Simulación de la tenaza,, con medidas ya establecidas, a través de Solidworks.

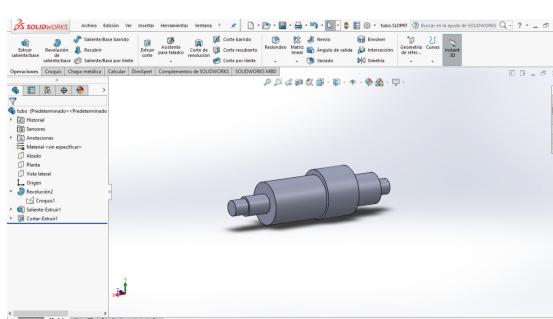


Imagen 9. Simulación del tubo,, con medidas ya establecidas, a través de Solidworks.

Como paso último en cuanto a la realización de los modelos en solidworks, se procede a ensamblar las seis piezas finales, con el fin de corroborar que todas ensamblen bien, y se llegue al producto final deseado.

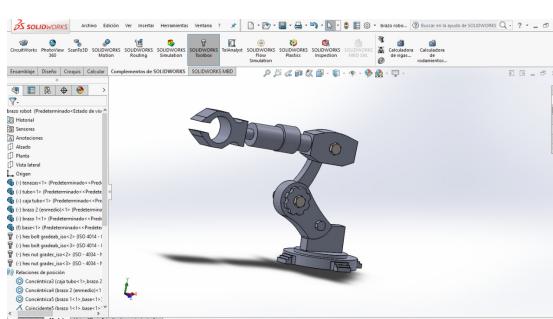


Imagen 10. Simulación del ensamble final, con el conjunto de todas las piezas.

Partiendo de tener las piezas realizadas en solidworks se prosigue a realizar; la simulación de maquinado por medio del edgecam para así después generar los códigos que irían en la cnc y poder así realizar la fabricación de cada una de las piezas.

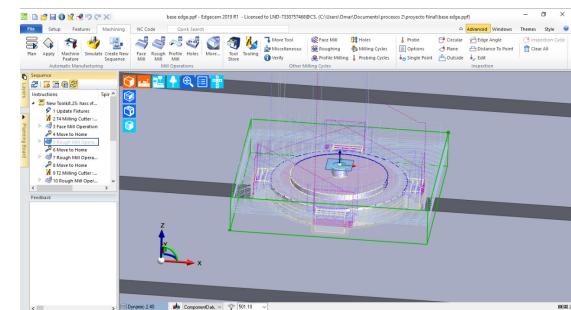


Imagen 11. Simulación de la base, en Edgecam, donde del lado izquierdo se observan las diferentes operaciones que fueron requeridas para la realización de esta.

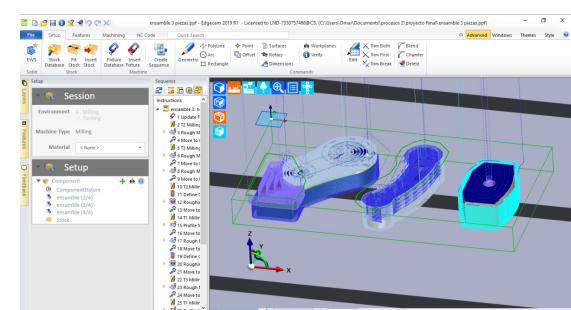


Imagen 12. Simulación de la fabricación de 3 piezas en un solo stock, para aprovechar el material y los cortadores.

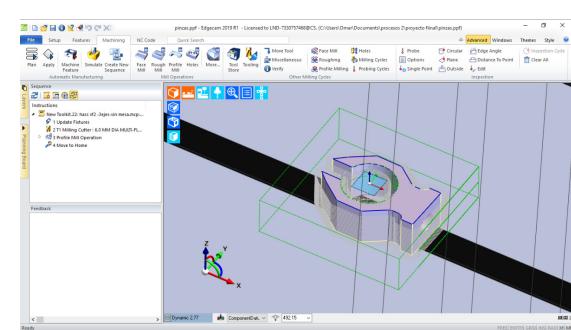


Imagen 13.. Simulación de la tenaza en edgecam.

2.4 ELECCIÓN DE HERRAMIENTAS

Como primer punto es de suma importancia tomar en cuenta el palpador, ya que con este se realizaron las calibraciones correspondientes del G54 de la pieza y de las herramientas requeridas

En base a las medidas, que poseían cada pieza, se asignaron las siguientes herramientas para la fresadora, donde viene de igual manera incluida la posición de cada una de ellas.

Posición	Tipo	Medida
T1	Endmill	6 mm.
T2	Endmill	8 mm.
T3	Endmill	4 mm.
T4	Endmill	12 mm.
T24	Palpador	6 mm.

Tabla 2.

3. CÁLCULOS

En el proceso de maquinado en la fresadora y en el torno, se deben hacer una serie de cálculos necesarios para poder determinar los parámetros que se introducirán ya sea en el código o directamente en la máquina CNC para poder maquinar según las especificaciones de la pieza. Existen distintos parámetros, como el material a maquinar, el tipo cortador a utilizar, el material del cortador, el número de filos del cortador, el Speed (revoluciones por minuto), el avance de corte por distancia, entre muchas que determinan los demás parámetros del maquinado

Velocidad de corte: La velocidad instantánea del movimiento de corte en un punto específico. m/min

Feed rate (por revolución): El avance de la herramienta en mm o in en una revolución. Mejor conocida como IPR (Inches Per Rev)

Feed rate (por tiempo): El avance de la herramienta en mm o in por minuto. mm/min.

Speed: Las revoluciones por minuto de la herramienta de corte o de la pieza. rpm.

Diámetro de corte: Diámetro que se utiliza para cortar (fresadora). En el caso del torno se llama diámetro de maquinado. mm

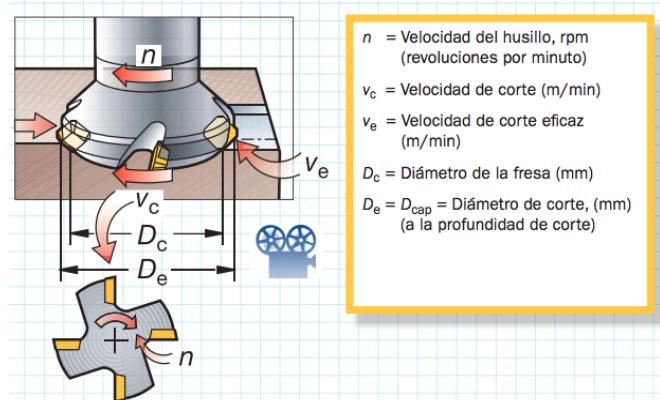


Imagen 13.1 Ilustración de maquinado en Fresadora

Avance, número de dientes y velocidad del husillo

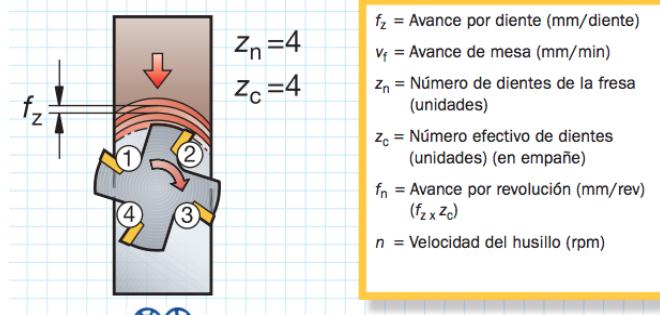


Imagen 13.2 Ilustración de Feed Rate en fresa

Para este caso se utilizaron los contadores mencionados anteriormente, todos son de 4 filos y de acero inoxidable de alta velocidad, de este modo se consiguieron los siguientes resultados en Edgecam (programa de simulación).

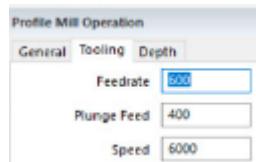


Imagen 13.3 Resultados en Edgecam del cortador Endmill 4mm

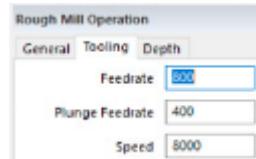


Imagen 13.3 Resultados en Edgecam del cortador Endmill 6mm

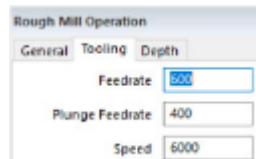


Imagen 13.3 Resultados en Edgecam del cortador Endmill 8mm

Rough Mill Operation

General	Tooling	Depth
Feedrate	600	
Plunge Feedrate	400	
Speed	6000	
Position	0	

Imagen 13.3 Resultados en Edgecam del cortador Endmill 12mm

Sin embargo al realizar los cálculos teóricamente se obtuvieron unos resultados similares en el Speed pero un tanto diferentes en el Feedrate.

Esto debido a que en este caso se utilizó Aluminio 6061 para el maquinado, por lo que la velocidad de corte y el IPR se investigaron de tablas obtenidas de las referencias especificadas, así que estas tablas no tienen valores fijos para un determinado cortador y un determinado aluminio, por lo que se tomaron los valores más cercanos a los diferentes cortadores utilizados. Por ejemplo para el Endmill de 4mm se utilizó una velocidad de corte de 90 m/min aproximadamente mientras que en el Endmill de 12mm se utilizó una velocidad de corte de 200m/min. Se adjuntan las tablas utilizadas.

Dm	mm	4	6	8	12
Vc	m/min	70	130	140	200
Feed rate	mm/rev	0.0508	0.0508	0.127	0.127
Speed (n)	rpm	5570.42301	6896.7142	5570.423008	5305.16477
Feed rate	mm/min	1131.90996	1401.41233	2829.774888	2695.0237
No. de filos	#	4	4	4	4

Tabla 2.1 Resultados teóricos

MATERIAL	CUTTING SPEEDS ¹		POINT ANGLE	LIP CLEARANCE	COOLANTS
	MM/SEC. MM/MIN.	FEET/SEC. FEET/MIN.			
Aluminum And Alloys	6.00 - 7.50	200 - 300	90 - 130 deg	12 - 15 deg	Kerosene/Kerocene & Lard Oil/Soluble Oil
Alum. Plate	12.20 - 18.25	40 - 50	135 - 140 deg	6 - 9 deg	Light Machine Oil
Brass	6.00 - 7.50	200 - 300	118 - 118 deg	12 - 15 deg	Dry/Soluble Oil/Kerosene/Lard Oil
Bronze	12.20 - 18.25	200 - 300	118 - 118 deg	12 - 15 deg	Dry/Soluble Oil/Kerosene/Oil/Lard Oil
Bronze, High Tensile	21.35 - 45.75	70 - 150	100 - 110 deg	12 - 15 deg	Dry/Soluble Oil/Kerosene/Oil/Lard Oil
Cast Iron, Soft	38.15 - 45.75	180 - 150	90 - 100 deg	12 - 15 deg	Air Jet Dry/Soluble Oil
Cast Iron, Medium	21.35 - 30.50	70 - 100	100 - 110 deg	12 - 15 deg	Air Jet Dry/Soluble Oil
Cast Iron, Hard	21.35 - 30.50	70 - 100	100 - 118 deg	8 - 12 deg	Air Jet Dry/Soluble Oil
Cast Iron, Chilled	9.15 - 12.20	30 - 40	118 - 135 deg	5 - 9 deg	Air Jet Dry/Soluble Oil
Copper	12.20 - 18.25	200 - 300	100 - 118 deg	12 - 15 deg	Air Jet Dry/Soluble Oil
Copper Graphite Alloy (Carbon	18.00 - 21.35	60 - 70	**,*	**,*	Soluble Oil/Dry/Mineral Oil/Kerocene
Drill, Glass (Carbon Drills)	6.10 - 9.15	20 - 30	**,*	**,*	Soluble Oil/Dry/Mineral Oil/Kerocene
Iron, Malleable	15.25 - 27.45	50 - 90	90 - 100 deg	12 - 15 deg	Light Machine Oil
Magnesium And Alloys	76.20 - 122.0	250 - 400	70 - 118 deg	12 - 15 deg	Soluble Oil
Monel	12.20 - 18.25	100 - 150	118 - 118 deg	12 - 15 deg	Compressed Air/Mineral Oil
Nickel Alloys	12.20 - 18.30	40 - 60	135 - 140 deg	5 - 7 deg	Lard Oil/Soluble Oil
Plastic, Hat Set	30.50 - 31.50	100 - 300	60 - 90 deg	10 - 12 deg	Lard Oil/Soluble Oil
Plastic, Sheet	12.20 - 18.25	100 - 150	118 - 118 deg	12 - 15 deg	Soluble Oil
Steel, Low Carbon, 0.2-0.3%	24.40 - 33.55	80 - 110	110 - 118 deg	7 - 9 deg	Soap Solution
Steel, Medium Carbon, 0.4-0.5%	21.35 - 24.40	70 - 90	118 - 125 deg	7 - 9 deg	Soluble Oil/Mineral Oil/Solvent Oil/Lard Oil
Steel, Medium Carbon, 0.4-0.5% (Carbide)	21.35 - 24.40	50 - 90	118 - 125 deg	7 - 9 deg	Soluble Oil/Mineral Oil/Solvent Oil/Lard Oil
Steel, Forged	15.25 - 18.30	50 - 60	118 - 145 deg	7 - 12 deg	Soluble Oil/Mineral Oil/Solvent Oil/Lard Oil
Steel, Alloy	15.25 - 21.35	50 - 70	118 - 125 deg	10 - 12 deg	Mineral Lard Oil
Steel, 300 To 400 Brinell	15.25 - 21.35	20 - 30	118 - 118 deg	7 - 12 deg	Soluble Oil
Steel, Stainless, Free Machining	9.15 - 24.40	30 - 80	110 - 118 deg	8 - 12 deg	Soluble Oil
Steel, Stainless, Heat	4.57 - 15.25	15 - 50	118 - 135 deg	6 - 8 deg	Soluble Oil
Steel, Tool	12.20 - 18.25	100 - 150	118 - 135 deg	7 - 9 deg	Water Solution
Stone (Carbide Drills)	7.63 - 9.15	25 - 30	**,*	**,*	Dry
Wood	91.50 - 122.0	300 - 400	60 - 70 deg	10 - 15 deg	

¹ Cutting speeds are for high speed steel drills except as indicated. Carbon drills are approximately 200 to 300% than high speed steel drills.

Tabla 2.2 Tabla de Velocidades de corte

Cutting Feeds (IPR) in/rev					
Operation	Tool Diameter Range (in)				
	<.125	.125-.25	.25-.5	.5-.1	>1.
Milling					
Aluminum	.002	.002	.005	.006	.007
Brass	.001	.002	.002	.004	.005
Delrin	.002	.002	.005	.006	.007
Polycarbonate	.001	.003	.006	.008	.009
Stainless Steel (303)	.0005	.001	.002	.003	.004
Steel (4140)	.0005	.0005	.001	.002	.003
Drilling					
	.002	.004	.005	.010	.015
Reaming					
	.005	.007	.009	.012	.015

Tabla 2.3 Tabla de Cutting Feeds (IPR)



MAQUINAS Y HERRAMIENTAS



FRESADORA

Velocidades de Corte en Fresadoras

Material	Presas de acero alta velocidad		Presas de Carburo	
	m/min	f/min	m/min	f/min
Acero para maquina	21-30	70-100	45-75	150-250
Acero de herramienta	18-20	60-70	40-60	125-200
Hierro Fundido	15-25	50-80	40-60	125-200
Bronce	20-35	65-120	60-120	200-400
Aluminio	150-300	500-1000	150-300	1000-2000

Tabla 2.4 Tabla de velocidades de corte

4. PROCESO DE MAQUINADO

Modelo de máquinas utilizadas:

Fresadora Haas ST-20



Imagen 14. Representación de Fresadora Haas ST-20

Torno Haas VF-2TR



Imagen 15. Representación del torno Haas VF-2TR

En primer lugar se sujetó cada stock en la mesa de la fresadora, posteriormente con ayuda de un nivel y un comparador de caratula se verificó que la pieza se encontrará lo más recta posible.

Una vez verificada la verticalidad de la pieza se procedió a la calibración de la misma por medio de un palpador el

cual era programado de acuerdo al G54 que le fue asignado a cada stock. (Ver **Img. 16**).



Imagen 16. Simulación del proceso de calibrado con el palpador en la fresadora.

La calibración de la herramienta conlleva a un procedimiento similar al de la pieza con la excepción de que en esta se utiliza un método en el cual se emplea una hoja de papel, la cual se coloca en medio de la pieza y se mueve conforme el cortador vaya bajando, en el momento en el que la hoja pierda el movimiento libre se procederá a anotar el valor resultante.(Ver **Img. 17**)



Imagen 17. Simulación del proceso de calibrado con una hoja en la fresadora.

Una vez terminada la calibración se procedió a la graficación y ejecución del código generado de cada pieza. Aunque el proceso se hacía de forma automática, se tomaban ciertas medidas de seguridad con el fin de prevenir posibles colisiones (Ver **Img. 18**)



Imagen 18. Simulación del proceso de cargar el código y ejecutarlo, con el fin de ver si no había problemas con él.

Se va checando el maquinado en conjunto con presionar los obtener del refrigerante, para así tomar en cuenta los tiempos, que se simularon en los edgecam, hasta que el código se dé por finalizado, y de procesa a sacar la pieza, de forma correcta, después de haberle aplicado aire comprimido, para eliminar los posibles restos de aluminio que pudiesen haber quedado. (Ver. **Img 19**)



Imagen 19. Simulación del retiro de las piezas, tomando en cuenta las medidas de seguridad necesarias.

Al tener las piezas ya realizadas por las diferentes máquinas, se procede a definir los últimos detalles, donde entre ellos, encontramos que en alguna piezas, se encontraban residuos de aluminio y con ayuda de un rebabeador, se lo teníamos que quitar. hasta obtener la pieza final deseada sin imperfecciones.

5. CONCLUSIÓN

El brazo robótico Kuka es muy utilizado en la industria armadora. Este es sumamente útil ya que puede cargar cosas que para el hombre es imposible cargar. Esto trae como resultado que el trabajo realizado se haga de manera más rápida y eficiente.

Con este proyecto nos pudimos dar cuenta de lo complejo que es hacer uno de estos brazos, aunque nuestro brazo está hecho a escala y no con todos los componentes que contiene un brazo Kuka real.

Durante el desarrollo de nuestro proyecto nos topamos con varios problemas, algunos más grandes que otros. ruptura de cortadores, fallas en la programación de

EdgeCam para poder maquinar en CNC, fallas en maquinados, el uso de las máquinas por parte de otros equipos, entre otros problemas que se presentaron.

El objetivo del curso y del proyecto final se cumplieron ya que aprendimos a utilizar el software de programación para maquinar, aprendimos a utilizar de una manera correcta el torno y la fresadora y nuestro proyecto se realizó de manera correcta en todo aspecto.

para futuros proyectos consideraremos tener provisiones en caso de emergencia, ya sea un stock más abundante en caso de que algún maquinado llegará a ser incorrecto, cortadores en caso de que vuelva a existir alguna ruptura y contar con más máquinas para poder programar más piezas en menos tiempo. Independientemente de los costos extras en dinero y tiempos de producción, obtuvimos el resultado esperado.

REFERENCIAS

Haas. (2000). st-20. 20/05/2019, de ninguno Sitio web: <https://www.haascnc.com/es/machines/lathes/st/models/standard/st-20.html>

haas. (2000). vf-2tr. 20/05/2019, de ninguno Sitio web: <https://www.haascnc.com/es/machines/vertical-mills/vf-series/models/small/vf-2tr.html>

prezi. (2010). Usos y aplicaciones industriales del aluminio. 20/05/019, de ninguno Sitio web: https://prezi.com/_r6cxaaa-jh5/usos-y-aplicaciones-industriales-del-aluminio

robot industrial (2019) Kuka, Sitio web:<https://www.kuka.com/es-mx/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industrial>

Kuka (2018) Automatización y robótica, Sitio web: <https://www.logismarket.com.mx/kuka/1201949371-2709089155-c>

paginae (2004) Robots industriales, Sitio web: http://www-paginae.fib.upc.es/~rob/protegit/treballs/Q2_03-04/industr/Robots%20Industrials.htm

cisgalicia (2012) Robótica y automatización, Sitio web: http://www.cisgalicia.org/pages/2012xagro/img/PCIS_KUKA.pdf

academia (2014) Seguridad del brazo robótico, Sitio web: https://www.academia.edu/7724694/UNIVERSIDAD_DE_LAS_FUERZAS_ARMADAS

ayri (2012) Kuka, Sitio web: <https://ayri11.com/notas-de-prensa/kuka/kuka-workvisua/>

Tecnoplac (2016) Estrategia Kuka industrial, Sitio web: <http://www.tecnoplcl.com/estrategia-kuka-industria-4-0/>

NS TOOL. (2019). *Calculation for Cutting Speed, Spindle Speed and Feed.* Obtenido de https://www.ns-tool.com/en/technology/technical_data/cutting_speed/

maxonmotor (2017) Pequeño gran robot con motores brushless en código abierto, Sitio web: https://www.maxonmotor.es/medias/sys_master/root/8815739797534/2014-10-story-es-kuka-research-robot.pdf?attachment=true

pickit3d (2016) Pick-it and KUKA robots, sitio web: <https://www.pickit3d.com/pick-it-works-with-your-robots/kuka>

feriadelaesciencias (2017) Desarrollo de brazo robotico, Sitio web: https://www.feriadelaesciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria361_01_desarrollo_de_brazo_robotico_para_multiples_aplica.pdf

prezi (2013) usos, funcionamiento de brazos robóticos, sitio web: <https://prezi.com/n-nint4jrqod/usos-funcionamiento-y-aplicaciones-de-brazos-roboticos/>

etitudela (2015) robótica, sitio web: <http://www.etitudela.com/profesores/rpm/rpm/downloads/robotica.pdf>