

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**“DESARROLLO DE METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN EN
PROCESOS DE SOLDADURA ROBOTIZADA APLICADO A
GEOMETRÍAS COMPLEJAS A PARTIR DE MODELOS CAD 3D,
OPTIMIZANDO TIEMPO DE PROGRAMACIÓN Y EJECUCIÓN.”**

**AUTORES: BÁEZ JÁTIVA, CÉSAR ESTEBAN
MAYA ORTIZ, DAVID MARCELO**

**ING. MANJARRES ARIAS, FÉLIX XAVIER
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**



CONTENIDO

Planteamiento del problema

Objetivos

Hipótesis

Recuperación de turbinas hidráulicas

Generación de trayectorias

Softwares de programación fuera de línea

Metodología propuesta

Pruebas y verificaciones

Conclusiones

Recomendaciones



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los procesos de soldadura son parte del proceso de recuperación de material para turbinas hidráulicas, existen diferentes factores que ralentizan el tiempo de ejecución de dicha operación.

La necesidad de un método que optimice este proceso con el uso de software especializado minimizaría el error humano, y aumentaría la eficiencia.

Desarrollo de metodología de programación en procesos de soldadura robotizada aplicado a geometrías complejas a partir de modelos CAD 3D, optimizando tiempo de programación y ejecución.

Las turbinas Francis debido a su geometría compleja dificultan el trabajo por parte del brazo robotizado haciendo que la programación de trayectorias demande exceso de tiempo.

En Ecuador la recuperación de turbinas hidráulicas es un proceso nuevo, gracias a la creación del Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas Hidráulicas y Partes Industriales CIRT CELEC-EP.



OBJETIVOS

Objetivo General:

- Desarrollar una metodología de programación para procesos de soldadura robotizada aplicable a volúmenes complejos a partir de modelos CAD 3D, optimizando tiempos de programación y ejecución.



Objetivos Específicos:

- Recopilar información, datos técnicos de la celda y sistemas de soldadura robotizada existentes.
- Compilar información sobre software especializado en tareas de obtención de código para soldadura y post proceso de líneas de código.
- Determinar algoritmos de generación de trayectoria, optimización de movimientos que faciliten el proceso de soldadura en volúmenes complejos de los datos CAD.



- Comprobar las trayectorias obtenidas en el brazo robótico mediante la ejecución en vacío de las mismas.
- Analizar el tiempo requerido antes y después de la implementación de la metodología propuesta.



HIPÓTESIS

Mediante la generación y programación de trayectorias para el proceso de soldadura robotizada, de partes con geometría compleja utilizando software especializado y corrección de parámetros, se optimiza el tiempo de programación y ejecución de soldadura en dichos elementos.



• RECUPERACIÓN DE TURBINAS HIDRÁULICAS

Problemas con las turbinas

Cavitación



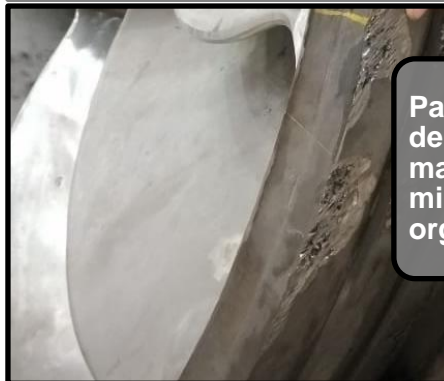
Ocasionado por la ebullición del líquido a temperatura ambiente.

Embalamiento



La velocidad alcanza varias veces la velocidad nominal.

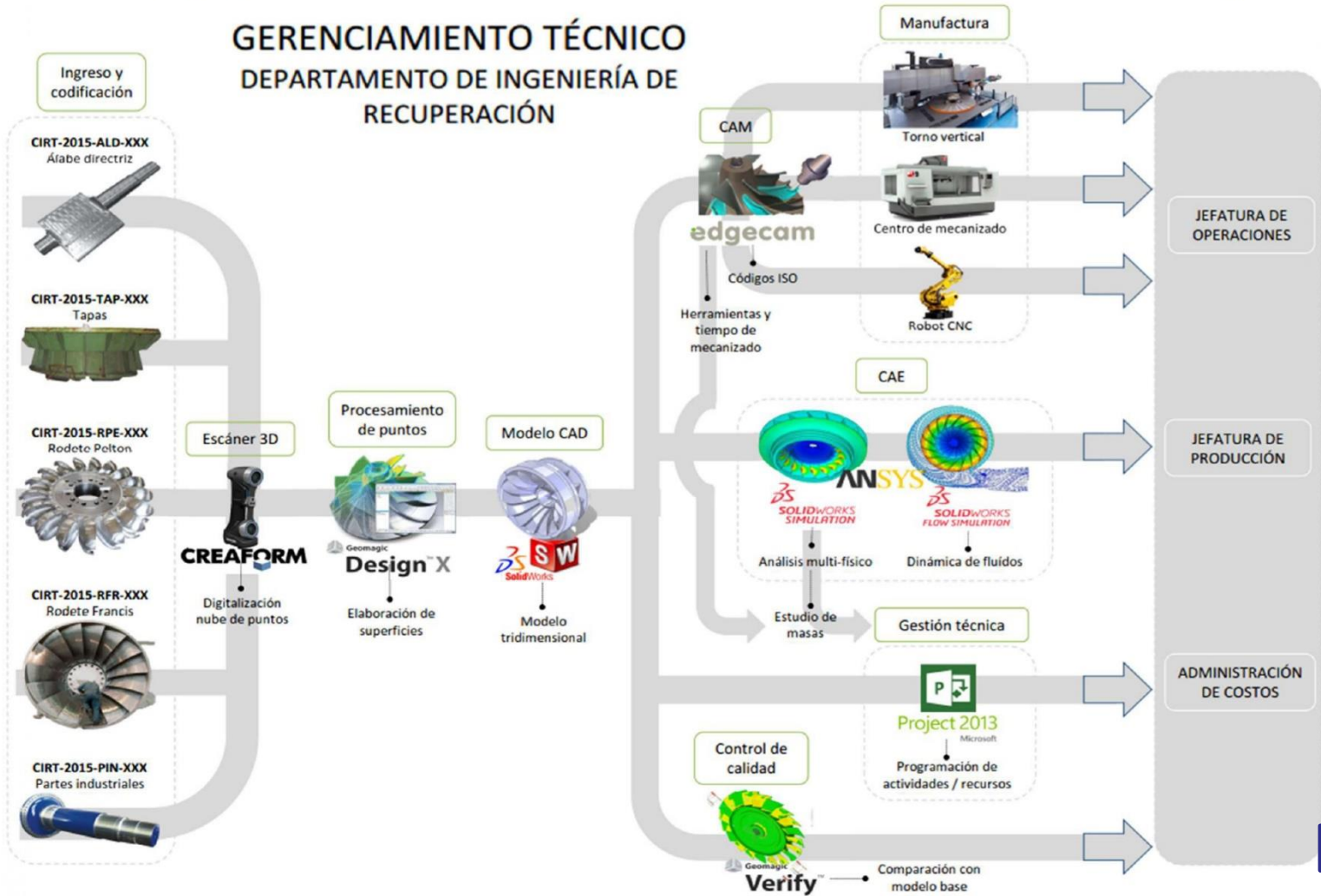
Sedimentos



Partículas de materiales minerales y orgánicos.



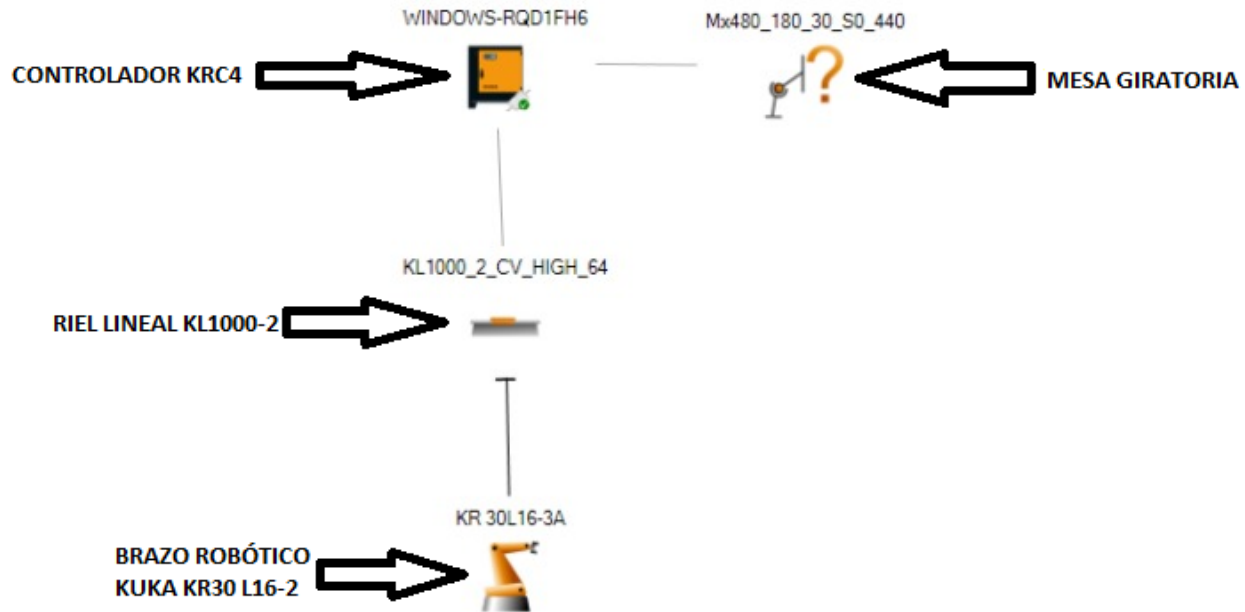
GERENCIAMIENTO TÉCNICO DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE RECUPERACIÓN





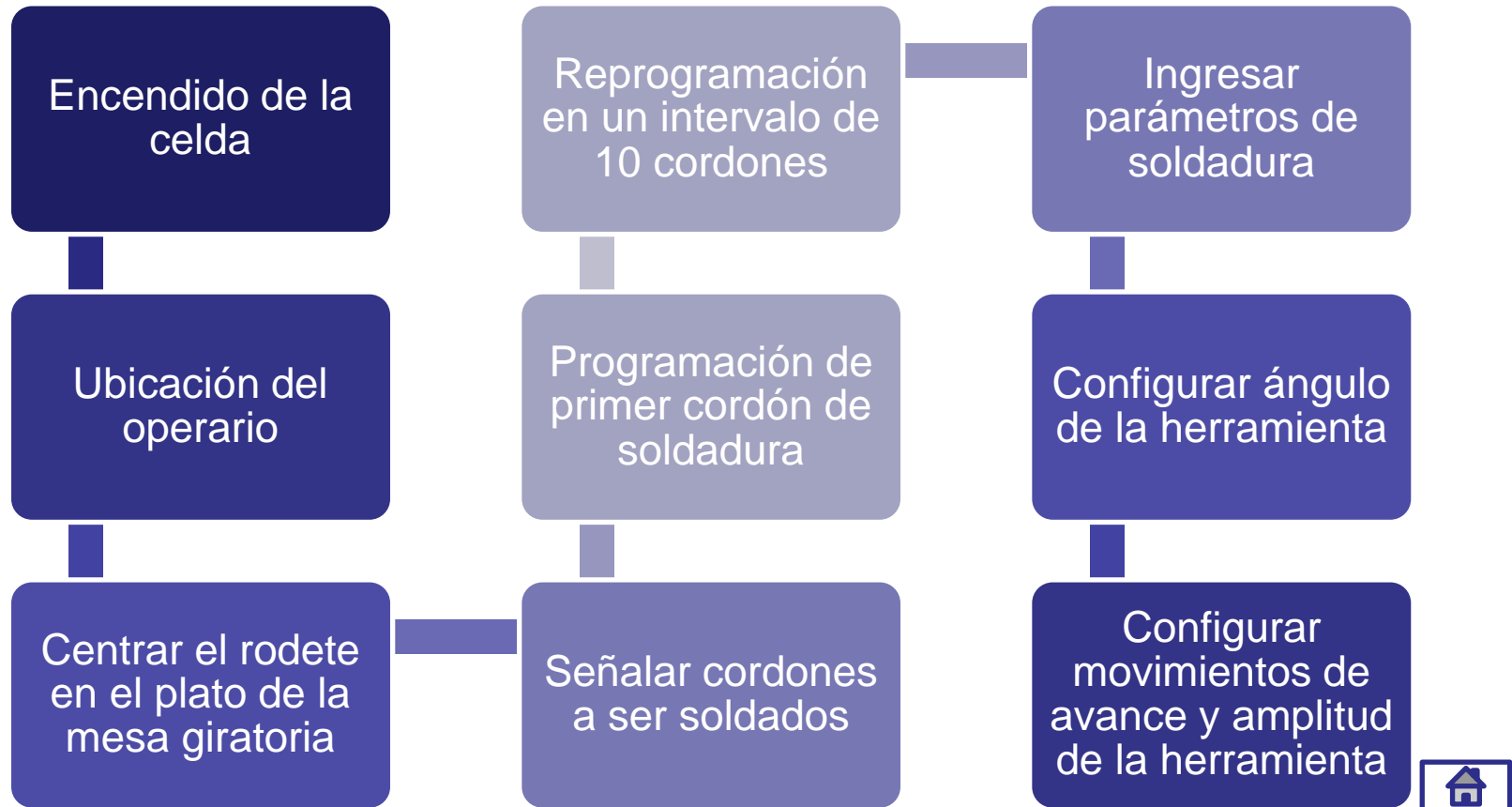
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Estructura de comunicación entre los elementos de la celda de soldadura de CIRT-CELEC-EP



• GENERACIÓN DE TRAYECTORIAS

Metodología actual



Tipos de trayectorias

Trayectorias circulares

- 70 % del trabajo realizado en la celda de soldadura.
- Riel lineal usado para el posicionamiento y aproximación.
- Mesa giratoria facilita la rotación.

Trayectorias sobre superficies complejas

- 25 % del trabajo realizado en la celda de soldadura.
- Riel lineal usado para el posicionamiento y aproximación.
- Mesa giratoria ayuda en secuencias de repetición.

Trayectorias sobre superficies planas

- 5 % del trabajo realizado en la celda de soldadura.
- Riel lineal usado para el posicionamiento y aproximación.



- **Softwares de programación fuera de línea**

Matriz de criterios ponderados entre softwares

Ponderación	Características	Open Rave	Total	Robo DK	Total	V-REP	Total	KUKA Sim Pro	Total	ROS	Total
8%	Tipo de licencia	10	0,8	5	0,4	10	0,8	7	0,56	10	0,8
18%	Compatibilidad con el recurso instalado	4	0,72	9	1,62	4	0,72	8	1,44	3	0,54
8%	Interfaz con el usuario	4	0,32	9	0,72	4	0,32	8	0,64	2	0,16
10%	Acceso e integración de fuentes de datos	3	0,3	8	0,8	4	0,4	8	0,8	3	0,3
8%	Comunicación con el controlador	0	0	10	0,8	0	0	8	0,64	0	0
12%	Integración de ejes externos	0	0	10	1,2	1	0,12	6	0,72	0	0
15%	Eficiencia del post procesador	0	0	10	1,5	0	0	8	1,2	0	0
10%	Desarrollo de trayectorias sobre archivos CAD 3D	0	0	9	0,9	0	0	9	0,9	0	0
5%	Aplicabilidad industrial	0	0	10	0,5	4	0,2	10	0,5	7	0,35
6%	Precio de la licencia	10	0,6	4	0,24	10	0,6	4	0,24	10	0,6
100%	TOTAL		2,74		8,68		3,16		7,64		2,75



Diagrama de barras compatibilidad con el recurso

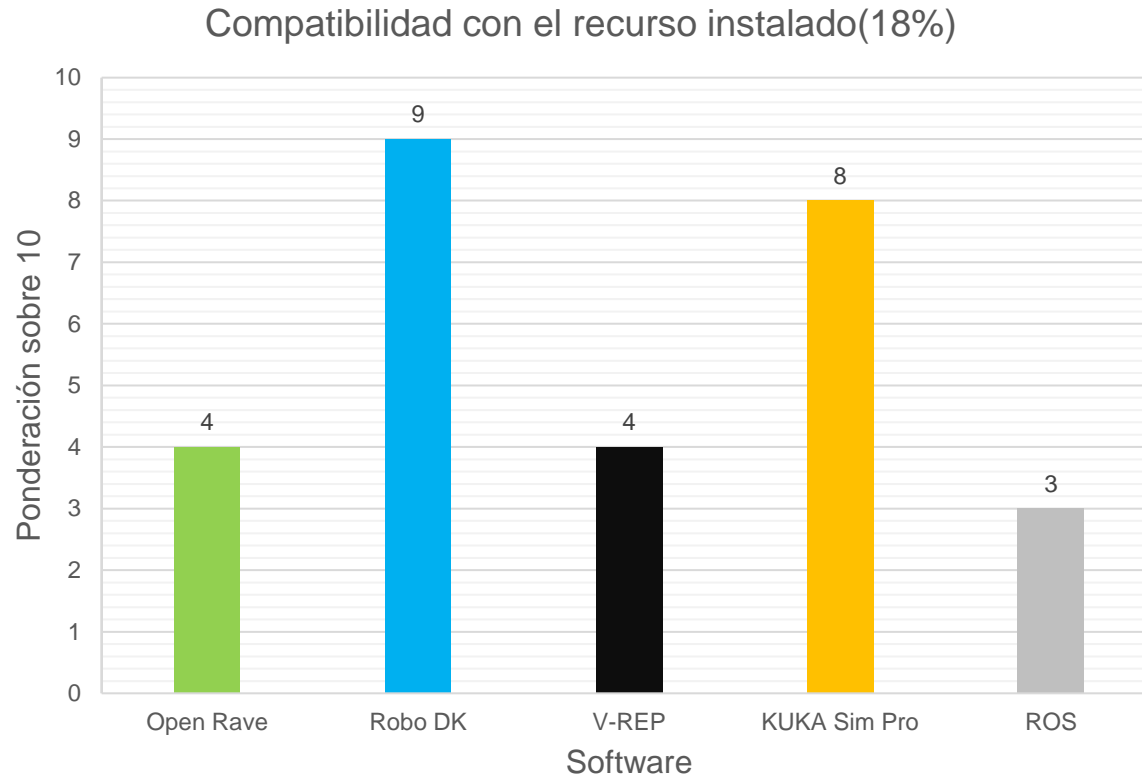


Diagrama de barras integración de ejes externos

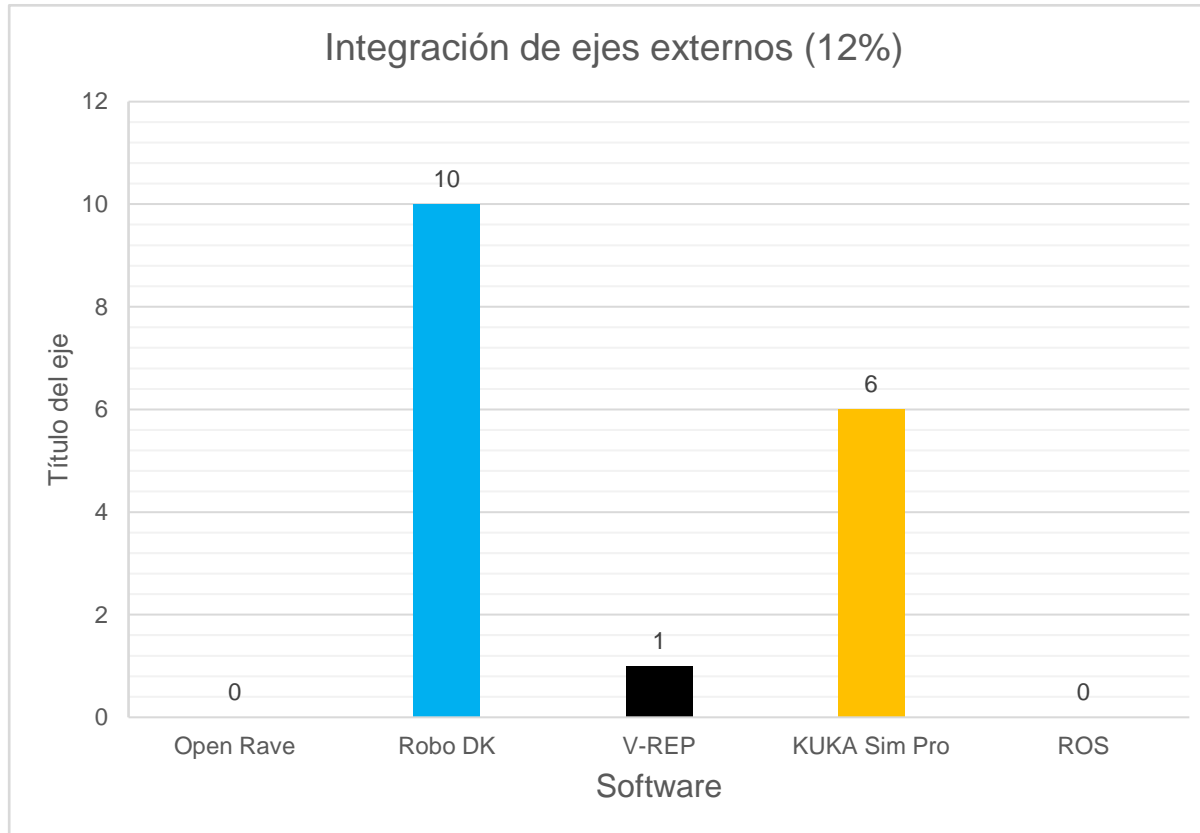


Diagrama de barras eficiencia del post procesador

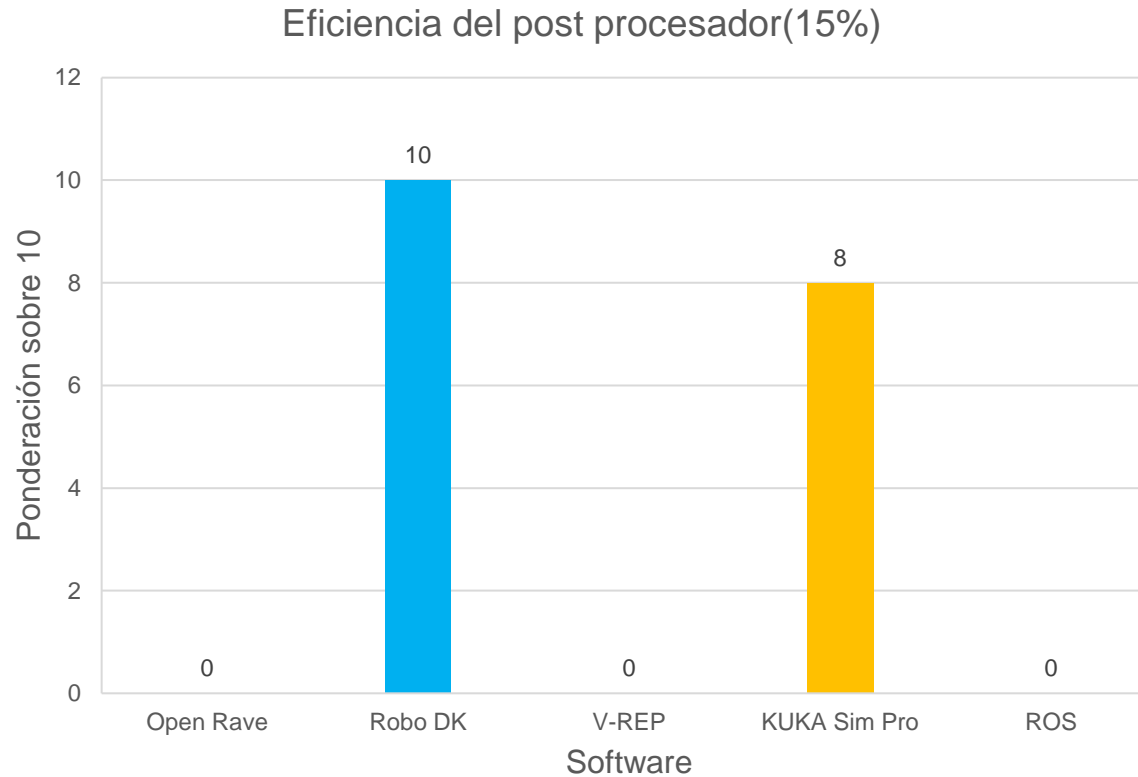


Diagrama de barras desarrollo de trayectorias sobre archivos CAD 3D

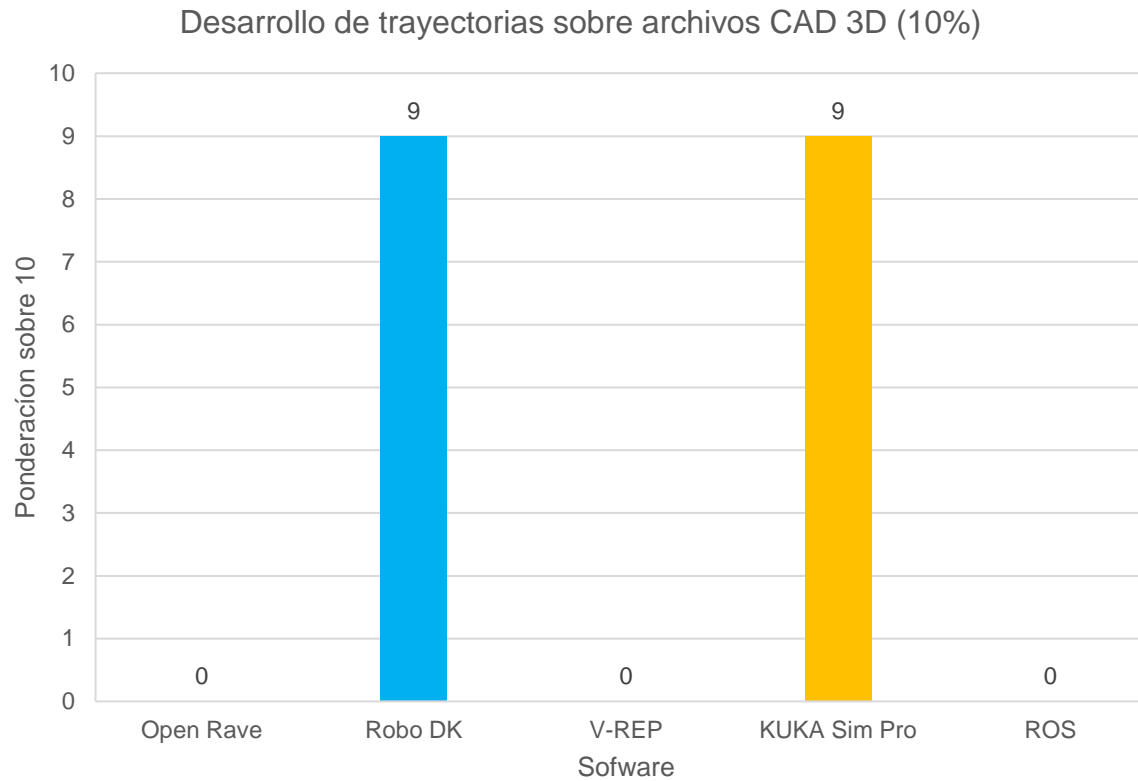


Diagrama de barras acceso e integración de fuentes de datos

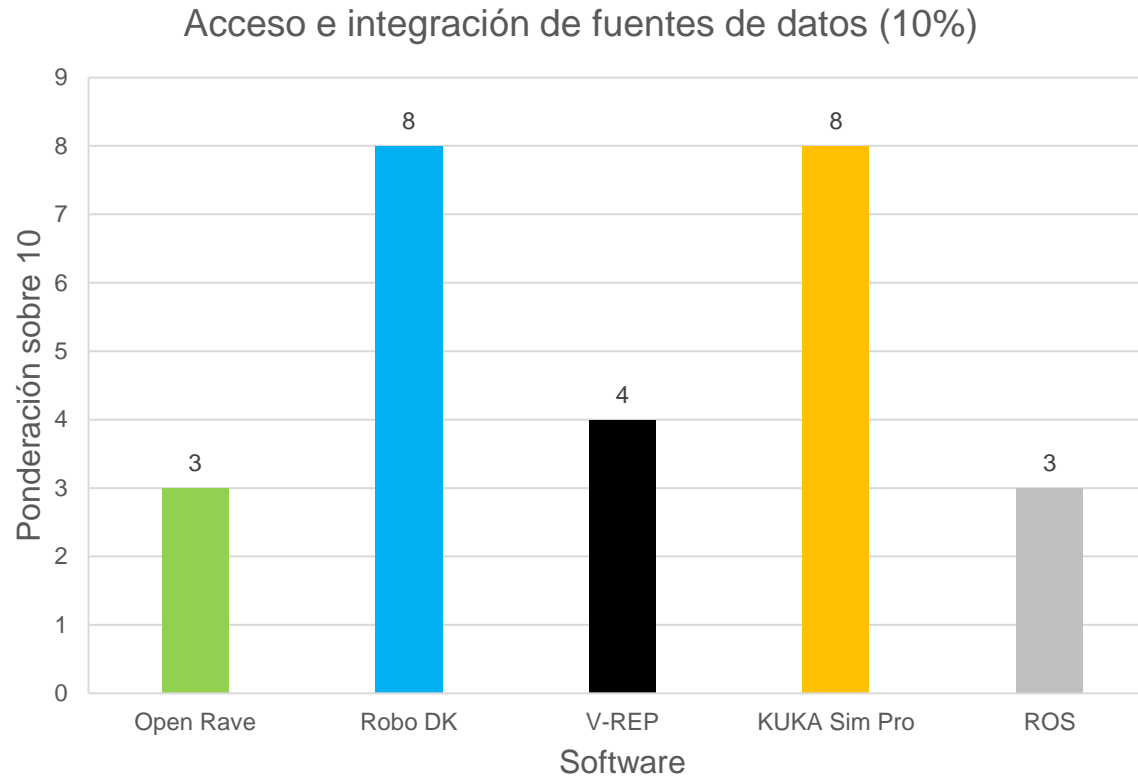
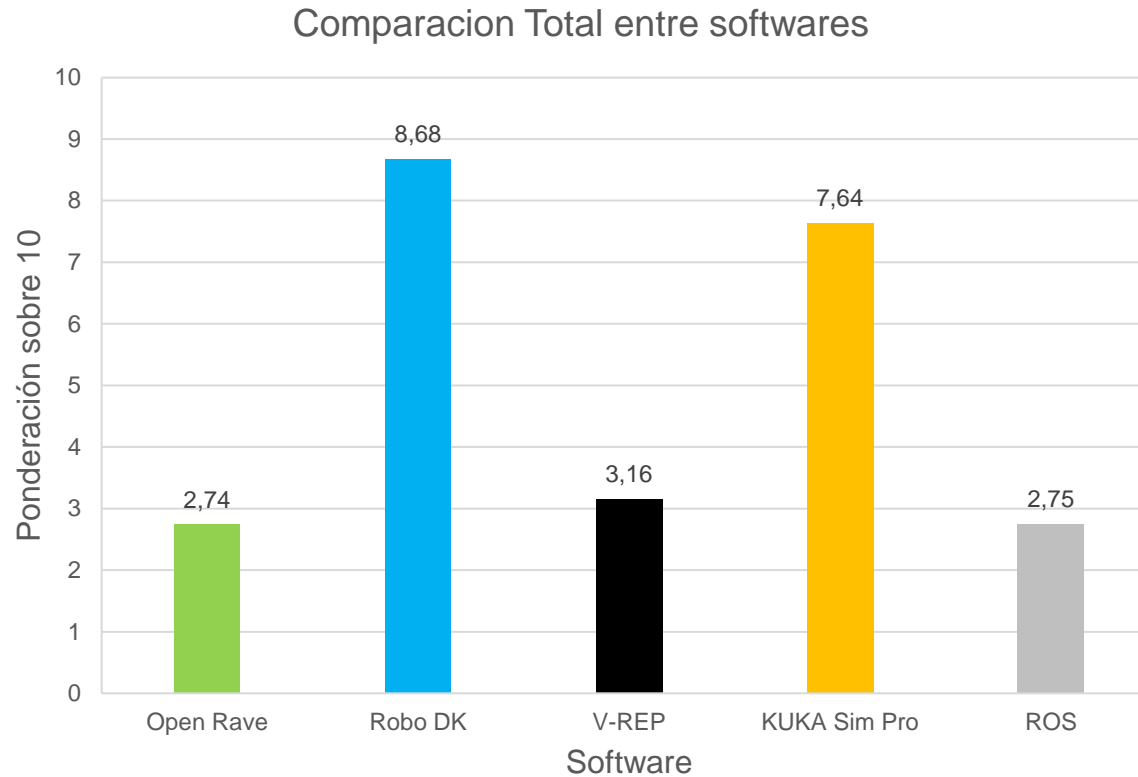


Diagrama de barras comparación total entre softwares



- **Metodología propuesta**

Dimensionamiento de la celda



Medida entre base del robot y centro de la mesa



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA





Verificación en X y Z



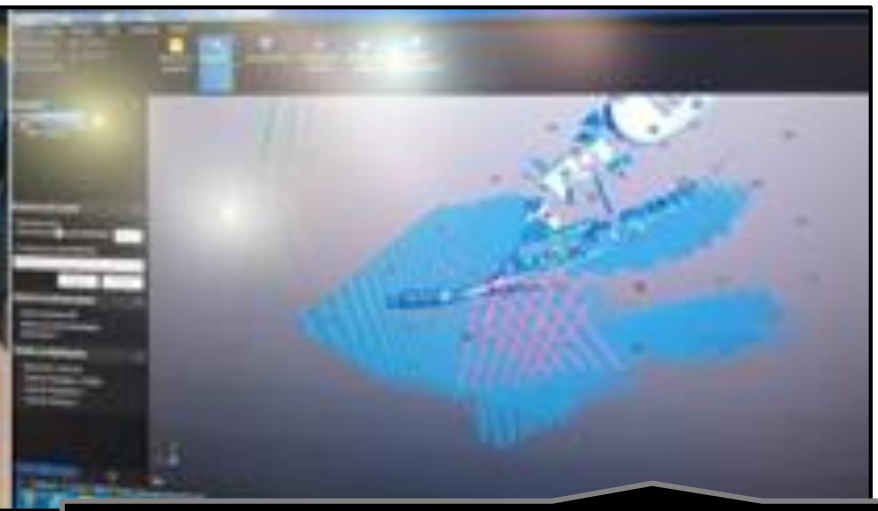
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Verificación en el centro de la
mesa



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Ingeniería inversa de la herramienta



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Método de medición

Medición "Herramienta, XYZ 4 puntos"

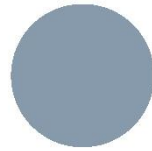
Medición "Herramienta, ABC World"

	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4
X [mm]:	3047.312	3124.374	2768.312	2803.811
Y [mm]:	839.912	688.274	731.551	950.724
Z [mm]:	1206.791	1191.745	1058.728	1032.873
A [°]:	-91.569	157.461	170.626	-138.135
B [°]:	0.784	-6.652	67.070	45.096
C [°]:	-179.776	170.422	163.783	-119.036

Puntos para calibración del TCP en el KCP



Nomenclatura del cursograma



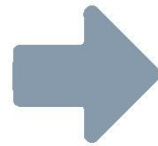
Operación

Representa información u operación tecnológica



Inspección

Revisión o comprobación según criterios establecidos



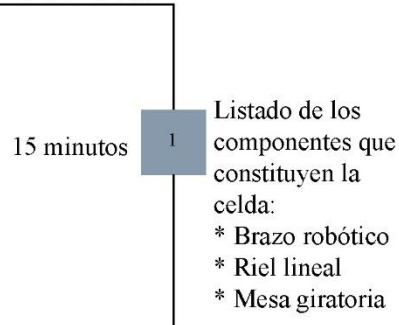
Transporte

Traslado físico de uno a otro punto de información, equipos o materiales.

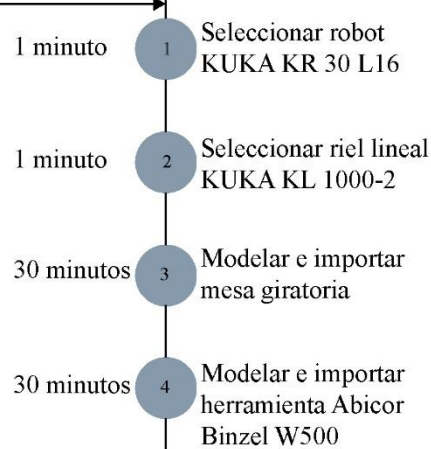


Cursograma de digitalización de la celda

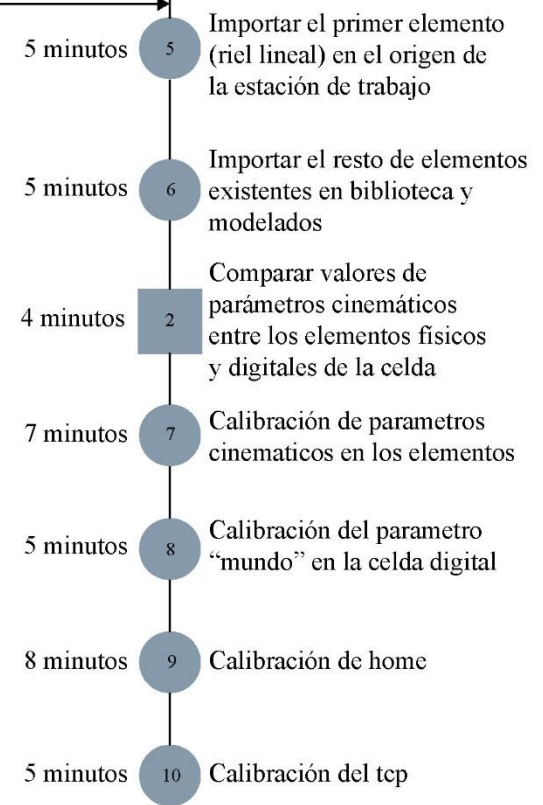
Reconocimiento de elementos físicos



Selección de elementos



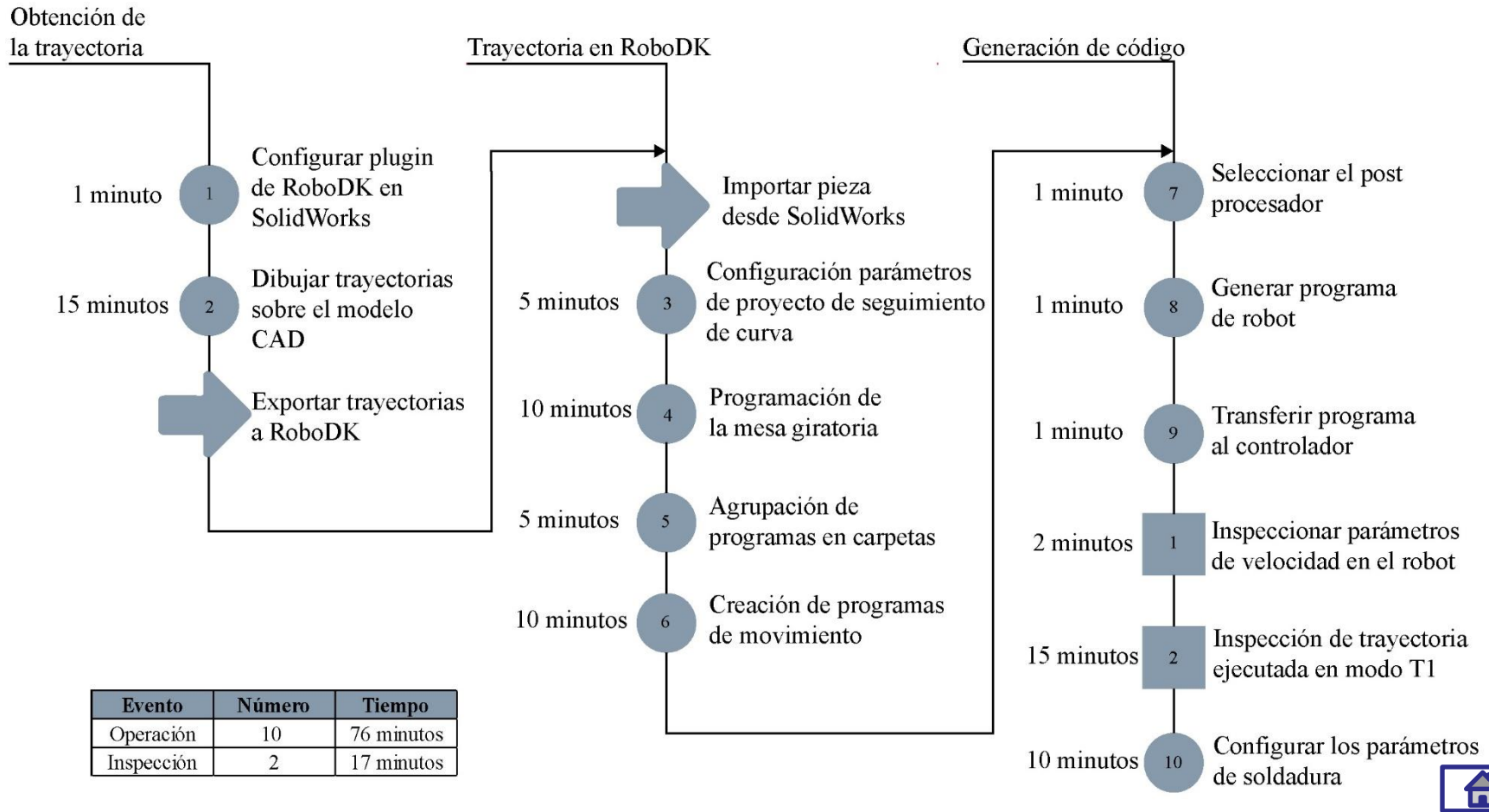
Calibración de elementos



Evento	Número	Tiempo
Operación	10	97 minutos
Inspección	2	19 minutos



Cursograma de generación de trayectoria



Código trayectoria de trabajo sobre la superficie de los alabes



```

1  &ACCESS RVP ;Atributos archivo de solo lectura, de escritura
2  &REL 1 ;Contador que indica cuántas veces se ha modificado el documento
3  &COMMENT Generated by RoboDK
4  &PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\vorgabe ;Plantilla de parametros
5  &PARAM EDITMASK = * ;Plantilla de mascara de edición
6  DEF Trayectoria ( )
7  ;FOLD INI - Inicio de un apartado
8  BAS (#INITMOV,0 ) ;Inicialización de las velocidades, aceleración, BASE, TOOL
9  ;ENDFOLD (INI) - Fin del apartado
10
11 ;FOLD STARTPOS
12 $BWDSTART = FALSE ;Deshabilita el movimiento hacia atrás
13 PDAT_ACT = {VEL 50,ACC 100,APO_DIST 10} ;variable para almacenar los datos PDAT (velocidad, aceleración, radio de aproximación) para un movimiento dado
14 BAS(#PTP_DAT) ;Da acceso a las variables FDAT_ACT
15 FDAT_ACT = {TOOL_NO 0,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE} ;y programe $ VEL, $ TOOL, $ BASE y otras variables del sistema en consecuencia
16 BAS (#FRAMES)
17 BAS (#VEL_PTP,50) ;El "50" es el ajuste de velocidad para este movimiento
18 ;ENDFOLD
19
20
21 ;FOLD SET DEFAULT SPEED
22 $VEL.CP=0.2 ;Velocidad de trayectoria
23 BAS(#VEL_PTP,50)
24 BAS(#TOOL,0)
25 BAS(#BASE,0)
26 ;ENDFOLD
27
28 ;FOLD PTP FIRST POSITION
29 $BWDSTART = FALSE
30 PDAT_ACT = {VEL 50,ACC 100,APO_DIST 10}
31 FDAT_ACT = {TOOL_NO 0,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE}
32 BAS (#FRAMES)
33 $ADVANCE = 5 ;Número de pasos de movimiento en avance, como máximo
34 ;ENDFOLD
35
36 PTP $AXIS_ACT ;Posición actual real
37 $ACT_EX_AX = 1 ;Número de bases externas en el sistema cinemático
38 ; Program generated by RoboDK v4.2.0 for KUKA KR 30 L16 on 28/03/2020 02:20:19
39 ; Using nominal kinematics.
40 $APO.CPTP = 1.000 ;Comienzo del posicionamiento en porcentaje
41 $APO.CDIS = 1.000 ;Prefijar la distancia de aproximación
42 $VEL.CP = 1.00000
43 $BASE = EK (MACHINE_DEF[2].ROOT, MACHINE_DEF[2].MECH_TYPE, { X 4126.000,Y 0.000,Z 2110.000,A 178.000,B 0.000,C 0.000 }) ;Definición del valor de base
44 $TOOL = {X 66.464,Y -1.704,Z 333.234,A 0.000,B 58.205,C 0.000} ;Definición del valor de herramienta
45 ; Mostrar TCP ABICOR W500 222

```



```

45 ; Mostrar TCP ABICOR W500 222
46 PTP {A1 35.26805,A2 -31.02348,A3 68.85885,A4 -175.55205,A5 25.61682,A6 93.02967,E1 -440.00000} C_PTP ;Posicionamiento inicial
47 LIN {X 1328.927,Y 173.477,Z -745.086,A -33.122,B -6.971,C 102.087,E1 -440.00000} C_DIS ;Inicio de la ejecución de trayectoria
48 $VEL.CP = 0.05000
49 LIN {X 1328.927,Y 165.623,Z -710.630,A -33.461,B -8.188,C 100.109,E1 -440.00000} C_DIS
50 LIN {X 1328.927,Y 158.988,Z -675.984,A -33.527,B -9.176,C 98.607,E1 -440.00000} C_DIS
51 LIN {X 1328.927,Y 153.300,Z -641.191,A -33.473,B -9.980,C 97.421,E1 -440.00000} C_DIS
52 LIN {X 1328.927,Y 148.364,Z -606.281,A -33.379,B -10.612,C 96.501,E1 -440.00000} C_DIS
53 LIN {X 1328.927,Y 143.964,Z -571.288,A -33.303,B -11.009,C 95.923,E1 -440.00000} C_DIS
54 LIN {X 1328.927,Y 138.788,Z -526.684,A -33.301,B -11.259,C 95.549,E1 -440.00000} C_DIS
55 LIN {X 1328.927,Y 133.899,Z -482.041,A -33.183,B -11.478,C 95.244,E1 -440.00000} C_DIS
56 LIN {X 1328.927,Y 129.323,Z -437.365,A -32.666,B -11.773,C 94.896,E1 -440.00000} C_DIS
57 LIN {X 1328.927,Y 125.115,Z -392.657,A -31.805,B -12.176,C 94.422,E1 -440.00000} C_DIS
58 LIN {X 1328.927,Y 121.833,Z -347.862,A -31.057,B -13.299,C 92.729,E1 -440.00000} C_DIS
59 $VEL.CP = 1.00000
60 LIN {X 1528.927,Y 321.833,Z -347.862,A -31.057,B -13.299,C 92.729,E1 -440.00000} C_DIS
61 $VEL.CP = 1.00000
62 LIN {X 1505.980,Y 133.108,Z -291.849,A -28.197,B -14.091,C 91.627,E1 -440.00000} C_DIS
63 LIN {X 1459.357,Y 44.684,Z -294.603,A -28.197,B -14.091,C 91.627,E1 -440.00000} C_DIS
64 $VEL.CP = 0.05000
65 LIN {X 1459.357,Y 46.988,Z -341.409,A -28.379,B -13.215,C 93.188,E1 -440.00000} C_DIS
66 LIN {X 1459.357,Y 50.172,Z -388.154,A -28.485,B -12.826,C 93.874,E1 -440.00000} C_DIS
67 LIN {X 1459.357,Y 53.871,Z -434.864,A -28.405,B -12.591,C 94.313,E1 -440.00000} C_DIS
68 LIN {X 1459.357,Y 57.891,Z -481.551,A -28.395,B -12.389,C 94.683,E1 -440.00000} C_DIS
69 LIN {X 1459.357,Y 62.375,Z -528.191,A -28.479,B -12.016,C 95.343,E1 -440.00000} C_DIS
70 LIN {X 1459.357,Y 65.671,Z -558.693,A -28.557,B -11.711,C 95.878,E1 -440.00000} C_DIS
71 LIN {X 1459.357,Y 69.333,Z -589.157,A -28.649,B -11.298,C 96.604,E1 -440.00000} C_DIS
72 LIN {X 1459.357,Y 73.496,Z -619.542,A -28.694,B -10.743,C 97.598,E1 -440.00000} C_DIS
73 LIN {X 1459.357,Y 78.363,Z -649.802,A -28.584,B -9.974,C 99.039,E1 -440.00000} C_DIS
74 LIN {X 1459.357,Y 84.184,Z -679.889,A -28.239,B -9.029,C 100.932,E1 -440.00000} C_DIS
75 LIN {X 1459.357,Y 91.271,Z -709.749,A -27.470,B -7.875,C 103.531,E1 -440.00000} C_DIS
76 $VEL.CP = 1.00000
77 LIN {X 1659.357,Y 291.271,Z -709.749,A -27.470,B -7.875,C 103.531,E1 -440.00000} C_DIS
78 $VEL.CP = 1.00000
79 LIN {X 1627.649,Y 118.629,Z -652.385,A -20.780,B -9.385,C 104.710,E1 -440.00000} C_DIS
80 LIN {X 1597.205,Y 26.729,Z -677.437,A -20.780,B -9.385,C 104.710,E1 -440.00000} C_DIS
81 $VEL.CP = 0.05000
82 LIN {X 1597.877,Y 19.588,Z -648.879,A -21.512,B -10.298,C 101.751,E1 -440.00000} C_DIS
83 LIN {X 1598.555,Y 13.523,Z -620.101,A -22.243,B -10.668,C 100.392,E1 -440.00000} C_DIS
84 LIN {X 1599.420,Y 6.426,Z -583.349,A -23.082,B -10.878,C 99.468,E1 -440.00000} C_DIS
85 LIN {X 1600.288,Y 0.000,Z -546.459,A -23.865,B -11.266,C 98.233,E1 -440.00000} C_DIS
86 $VEL.CP = 1.00000
87 LIN {X 1800.288,Y 200.000,Z -546.459,A -23.865,B -11.266,C 98.233,E1 -440.00000} C_DIS ;Fin de la ejecución de trayectoria
88 END

```



Código de movimiento de la mesa rotacional (E2)



Código posición 1 mesa

```
36 PTP $AXIS_ACT ; skip BCO quickly
37 ; Program generated by RoboDK v4.2.0 for Mi Mecanismo on 28/03/2020 02:20:38
38 ; Using nominal kinematics.
39 PTP {E2 0.00000} ;Valor de la primera posición de la mesa en 0 grados
40 END
41
```

Código posición 2 mesa

```
35
36 PTP $AXIS_ACT ; skip BCO quickly
37 ; Program generated by RoboDK v4.2.0 for Mi Mecanismo on 28/03/2020 02:20:52
38 ; Using nominal kinematics.
39 PTP {E2 21.17000} ;;Valor de la segunda posición de la mesa en 27.17 grados
40 ND
41
```



Código principal



```
35
36 PTP $AXIS_ACT ; skip BCO quickly
37 $ACT_EX_AX = 1
38 ; Program generated by RoboDK v4.2.0 for KUKA KR 30 L16 on 28/03/2020 02:19:48
39 ; Using nominal kinematics.
40 Mesa posición 1() ;Llamado del primer programa de posición en la mesa giratoria
41 Trayectoria() ;Llamado del programa para ejecución de la trayectoria sobre el rodete
42 Mesa posición 2() ;Llamado del segundo programa de posición en la mesa giratoria
43 Trayectoria() ;Llamado del programa para ejecución de la trayectoria sobre el rodete
44 Mesa posición 3()
45 Trayectoria()
46 Mesa posición 4()
47 Trayectoria()
48 Mesa posición 5()
49 Trayectoria()
50 Mesa posición 6()
51 Trayectoria()
52 Mesa posición 7()
53 Trayectoria()
54 Mesa posición 8()
55 Trayectoria()
56 Mesa posición 9()
57 Trayectoria()
58 Mesa posición 10()
59 Trayectoria()
60 Mesa posición 11()
61 Trayectoria()
62 Mesa posición 12()
63 Trayectoria()
64 Mesa posición 13()
65 Trayectoria()
66 Mesa posición 14()
67 Trayectoria()
68 Mesa posición 15()
69 Trayectoria()
70 Mesa posición 16()
71 Trayectoria()
72 Mesa posición 17()
73 Trayectoria()
74 Mesa posición 18()
75 Trayectoria()
76 END
77
```



PRUEBAS Y VERIFICACIONES

Pruebas y verificaciones en la metodología actual

- Descripción de las muestras obtenidas
- Tiempo normal

Pruebas y verificaciones en la metodología propuesta

- Descripción de las muestras obtenidas
- Tiempo normal

- Tiempo vs metodología



Tiempo normal

Habilidad		Esfuerzo		Condiciones		Consistencia	
+0.15	A1	+0.13	A1	+0.06	A Ideales	+0.04	A Perfecto
+0.13	A2 Habilisimo	+0.12	A2 Excesivo	+0.04	B Excelente	+0.03	B Excelente
+0.11	B1	+0.10	B1	+0.02	C Buena	+0.01	C Buena
+0.08	B2 Excelente	+0.08	B2 Excelente	0.00	D Promedio	0.00	D Promedio
+0.06	C1	+0.05	C1	-0.03	E Regulares	-0.02	E Regulares
+0.03	C2 Bueno	+0.02	C2 Bueno	-0.07	F Malas	-0.04	F Deficientes
0.00	D Promedio	0.00	D Promedio				
-0.05	E1	-0.04	E1				
-0.10	E2 Regular	-0.08	E2 Regular				
-0.15	F1	-0.12	F1				
-0.22	F2 Deficiente	-0.17	F2 Deficiente				

$$T_n = T_o * V$$

$$T_n = T_o * [1 + (H + E + C + K)]$$

Donde:

T_n= tiempo normal

T_o= tiempo medido promedio

V= valoración del ritmo de trabajo

H= habilidad

E= esfuerzo

C= condiciones

K= consistencia



Descripción de las muestras obtenidas en la metodología actual

Centrar el rodete en el plato de la mesa giratoria

$$Tn = To * [1 + (H + E + C + K)]$$

$$Tn = 5422 * [1 + (0,08 + 0 + 0,02 + 0,01)]$$

$$Tn = 5422 * 1,11$$

$$Tn = 6018 \text{ segundos}$$

Reprogramación en un intervalo de 10 cordones

$$Tn = To * [1 + (H + E + C + K)]$$

$$Tn = 1315 * [1 + (0,08 + 0 + 0,02 + 0,01)]$$

$$Tn = 1315 * 1,11$$

$$Tn = 1460 \text{ segundos}$$



Tiempo normal en la metodología actual

N°	Descripción Actividades	Tiempos Medidos (s)		Tiempo Promedio		Valoración Factor Trabajo					Tiempo Normal (s)
		1	2	$\sum t(s)$	t(s)	H	E	C	K	$F=1+\sum f$	
1	Encendido de la celda	300	260	560	280	0,08	0	0,02	0,01	1,11	311
2	Ubicación del operario	10	11	21	10,5	0,08	0	0,02	0,01	1,11	12
3	Centrar el rodete en el plato de la mesa giratoria	5422	5422	10844	5422	0,08	0	0,02	0,01	1,11	6018
4	Señalar cordones a ser soldados	625	681	1306	653	0,08	0	0,02	0,01	1,11	725
5	Programación de primer cordón de soldadura	925	965	1890	945	0,08	0	0,02	0,01	1,11	1049
6	Reprogramación en un intervalo de 10 cordones	1350	1280	2630	1315	0,08	0	0,02	0,01	1,11	1460
7	Ingresar parámetros de soldadura	475	420	895	447,5	0,08	0	0,02	0,01	1,11	497
8	Configurar ángulo de la herramienta	1130	1104	2234	1117	0,08	0	0,02	0,01	1,11	1240
9	Configurar movimientos de avance de la herramienta	2800	2945	5745	2872,5	0,08	0	0,02	0,01	1,11	3188
10	Configurar movimientos de amplitud de la herramienta	2960	2950	5910	2955	0,08	0	0,02	0,01	1,11	3280
TOTAL TIEMPO NORMAL CELDA DE SOLDADURA ROBOTIZADA (s)										17779	
TOTAL TIEMPO NORMAL CELDA DE SOLDADURA ROBOTIZADA (min)										296,32	



Descripción de las muestras obtenidas en la metodología propuesta

Dibujar trayectorias sobre el modelo CAD

$$Tn = To * [1 + (H + E + C + K)]$$

$$Tn = 996Tn = 897 * 1,11Tn$$

$$= 897 * [1 + (0,08 + 0 + 0,02 + 0,01)]$$

Configurar parámetros de proyecto de seguimiento de curva

$$Tn = To * [1 + (H + E + C + K)]$$

$$Tn = 325Tn = 291 * 1,11Tn$$

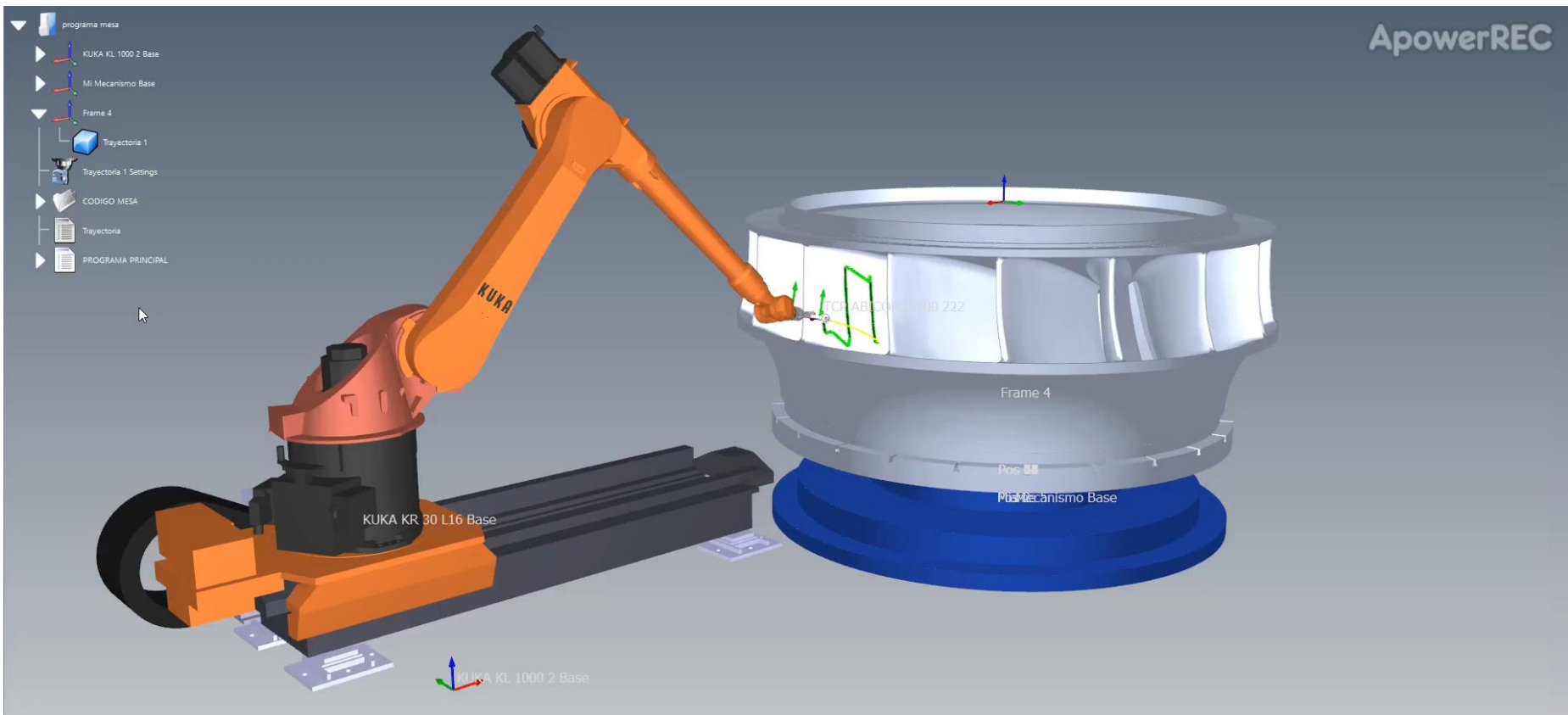
$$= 293 * [1 + (0,08 + 0 + 0,02 + 0,01)]$$



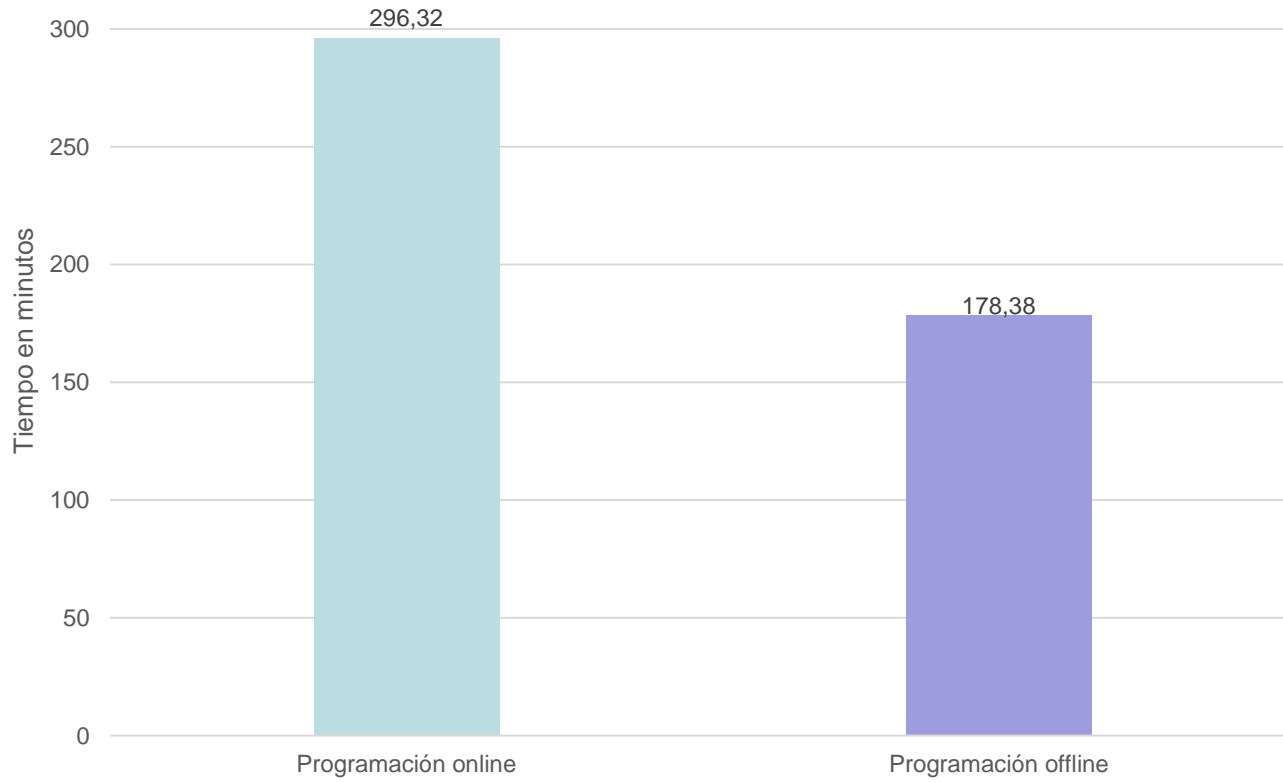
Tiempo normal en la metodología propuesta

N°	Descripción Actividades	Tiempos Medidos (s)		Tiempo Promedio		Valoración Factor Trabajo					Tiempo Normal (s)
		1	2	$\sum t(s)$	t(s)	H	E	C	K	$F=1+\sum f$	
1	Configurar SolidWorks	62	59	121	60,5	0,08	0	0,02	0,01	1,11	67
2	Dibujar trayectorias sobre el modelo CAD	915	879	1794	897	0,08	0	0,02	0,01	1,11	996
3	Exportar trayectorias a RoboDK	30	31	61	30,5	0,08	0	0,02	0,01	1,11	34
4	Importar pieza a RoboDK	30	28	58	29	0,08	0	0,02	0,01	1,11	32
5	Configurar parámetros de proyecto de seguimiento de curva	295	291	586	293	0,08	0	0,02	0,01	1,11	325
6	Programar la mesa giratoria	524	532	1056	528	0,08	0	0,02	0,01	1,11	586
7	Agrupar programas en carpetas	205	200	405	202,5	0,08	0	0,02	0,01	1,11	225
8	Creación de programas de movimiento	575	556	1131	565,5	0,08	0	0,02	0,01	1,11	628
9	Seleccionar post procesador KRC4	30	25	55	27,5	0,08	0	0,02	0,01	1,11	31
10	Generar programa de robot	35	34	69	34,5	0,08	0	0,02	0,01	1,11	38
11	Transferir programa al controlador	45	55	100	50	0,08	0	0,02	0,01	1,11	56
12	Cargar programa en el controlador	35	34	69	34,5	0,08	0	0,02	0,01	1,11	38
13	Correr el programa en T1	950	945	1895	947,5	0,08	0	0,02	0,01	1,11	1052
14	Centrar el rodete en el plato de la mesa giratoria	5422	5422	10844	5422	0,08	0	0,02	0,01	1,11	6018
15	Configurar parámetros de soldadura	500	540	1040	520	0,08	0	0,02	0,01	1,11	577
TOTAL TIEMPO NORMAL CELDA DE SOLDADURA ROBOTIZADA (s)										10703	
TOTAL TIEMPO NORMAL CELDA DE SOLDADURA ROBOTIZADA (min)										178,38	





Tiempo vs metodología



CONCLUSIONES

- En la actualidad el Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas Hidráulicas y Partes Industriales de CELEC-EP dispone en la actualidad de una celda soldadura robotizada para trabajos repetitivos y de precisión, compuesta por un robot KUKA KR30 L16 – 2 con controlador KRC4, un riel lineal KUKA KL1000 – 2 CV, una mesa giratoria de implementación nacional con servomotor KUKA, una maquina soldadora Cebora Evo speed star 520 TS y una herramienta Abircor Binzel WH500 22.
- A través del análisis de cinco softwares afines a la investigación se logró entender su aplicación y características de cada uno, con el fin de ser comparados y seleccionar el software idóneo para la presente investigación, siendo RoboDK el seleccionado por cumplir las necesidades aplicativas planteadas.



- Mediante la asistencia de SolidWorks para la planificación de trayectorias y su plugin de RoboDK se logró integrar un correcto y óptimo método de creación de movimientos que facilitan el proceso de soldadura, con la versatilidad que presenta la edición de parámetros en la opción de proyecto “seguimiento de curvas”, agilizando el trabajo sobre volúmenes complejos en archivos CAD en conjunto a la ingeniería inversa.
- Gracias a las opciones: mapa de colisiones, métodos de orientación del TCP y configuración de la compensación del TCP con la que cuenta RoboDK, la comprobación al vacío de las trayectorias obtenidas se caracteriza por una mayor precisión y seguridad respecto a las generadas manualmente con el KUKA Control Panel (KCP).



- A partir de la cuantificación de tiempo de varios parámetros inmersos en cada metodología, tanto en la actualmente utilizada y en la propuesta se obtuvo como resultados 296,32 minutos y 178,38 minutos respectivamente, obteniendo como resultado una reducción del 39,8% del tiempo empleado en el proceso de soldadura de alabes en un rodete tipo Francis, siendo un valor significativo de tiempo en el proceso de recuperación de turbinas hidráulicas.



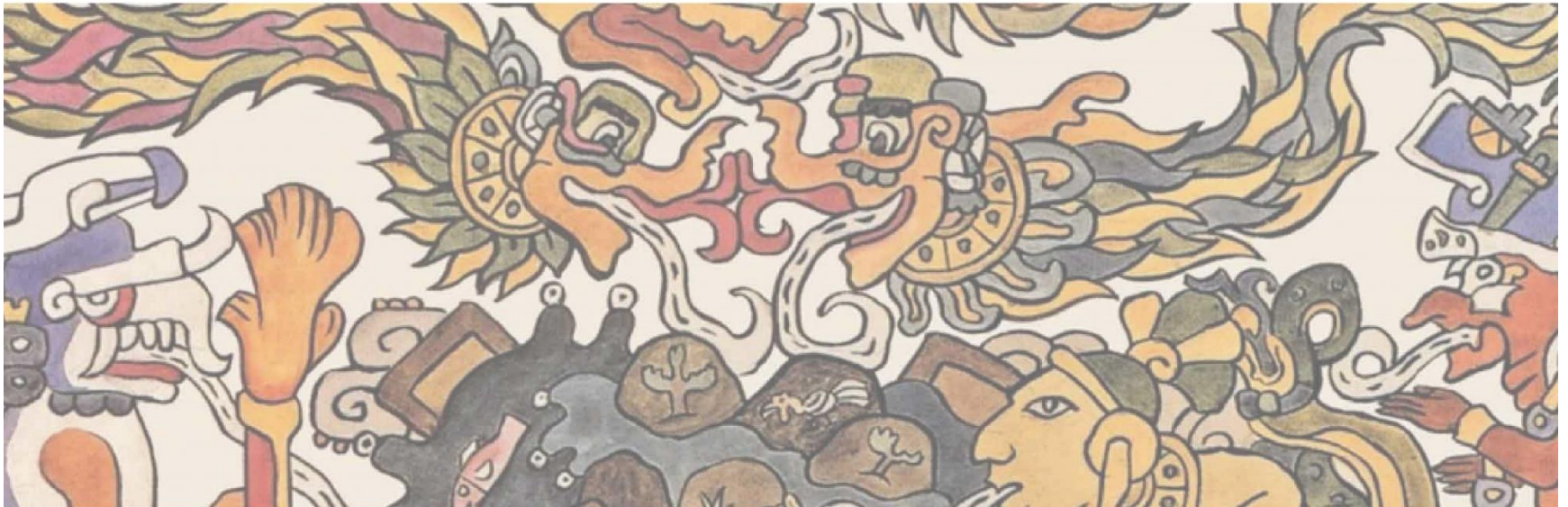
RECOMENDACIONES

- A la hora de realizar la digitalización de la celda tener presente las correctas orientaciones de los ejes respecto a la referencia física fijada en el controlador.
- En la planificación de trayectorias se debe tomar en cuenta el tipo de trayectorias a realizar, con el fin de obtener el uso óptimo de los ejes externos del robot.
- Previa a la ejecución de pruebas asegurarse de realizar un respaldo digital de toda la programación e información presente en el controlador.
- Verificar detenidamente las líneas de código generadas por el software seleccionado, editando los comandos que podrían generar errores en la ejecución.
- Cumplir a cabalidad las normas previstas de seguridad a la hora de realizar pruebas al vacío, siempre a baja velocidad (T1).



Que todos se levanten, que nadie se quede atrás,
que no seamos ni uno ni dos de nosotros,
sino todos.

Popol Vuh



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA